7a

Die Stellung

der

Atomenlehre

zur

Physik des Aethers.

Geschichtlich-physikalische Studie

von

Theodor Hoh.

Bamberg 1885.
Druck der W. Gärtner'schen Buchdruckerei (G. Siebenkees).

Illa, quae vulgo elementa appellari solent, terra, aqua, aer, ignis nihil aliud mihi sunt, nisi diversa solida et fluida ex iisdem homogeniis punctis composita, ex quibus permixtis alia magis composita corpora oriuntur.

Numerus punctorum luminis immensis, tamen finitus. . . . . Vires punctorum particulae luminis agunt ad aliquod intervallum . . . . Tenuissimus motus imprimitur alumine particulis corporum.

Caloris causam repono in motu vehementi intestino particularum igneae vel sulfureae substantiae . . . . Frigus haberi potest peripsum defectum ejusmodi substantiae vel defectum motus in ipsa.

P. Ruggiero Giuseppe Boscovich (S. J.) (1711—1787) Theoria philosophiae naturalis, redacta ad unicam legem virium in natura existentium. — Editio Veneta prima. — Venetiis, MDCCLXIII (LVIII (?)) — III. Applicatio Theoriae ad Physicam; (467. 472. 488. 508. 509. 510. etc.) — „Vulgaria quatuor elementa quid sint . . . . De natura ignis . . . . De lumine, ubi de omnibus ejus proprietatibus, ac de phosphoris . . . . De tactu, ubi de frigore et calore . . . . Analogia et differentia materiae electricae et igneae.“

Illa, quae vulgo elementa appellari solent, terra, aqua, aer, ignis nihil aliud mihi sunt nisi diversa solida et fluida ex iisdem homogeneis punctis composita, ex quibus permixtis alia magis composita corpora oriuntur.

... Numerus punctorum in omnia immensus, tamen finitus. ... Vires punctorum particulae luminis agunt ad aliquod intervallum. ... Tenuissimus motus imprimitur [illegible] particulis corporum.

... Caloris causam repono in motu vehementi intestino particularum igneae vel sulphureae substantiae. ... Frigus haberi potest perquam defectum ejusmodi substantiae vel defectum motus in ipsa.

P. Ruggiero (Giuseppe) Boscovich (S. J.) (1711—1787). Theoria philosophiae naturalis, redacta ad unicam legem virium in natura existentium. — Editio Veneta prima. Venetiis, MDCCLXIII (LVIII, 2?). — III. Applicatio Theoriae ad Physicam; 405, 472, 4[illegible], 498, 509, 519, etc. — „Vulgaris quatuor elementa quid sint ... De natura ignis ... De lumine ubi de omnibus ejus proprietatibus, ac de phosphoris ... De tactu, ubi de frigore et calore. Analogia et differentia materiae electricae et igneae."

I. Allgemeines.

1. Die ächt physikalische Bedeutung der Atomistik[1]), wie solche die neuere Naturwissenschaft mit erfahrungsmäßigen und mathematischen Forschungsmitteln begründete, tritt kaum irgendwo klarer hervor, als in dem Umstande, daß gerade da, wo die Atome am entbehrlichsten scheinen, ihre Gegenwart und Mitwirkung bei wichtigen Ereignissen dringend gefordert wird. Das Licht mit seinen vielfältigen Erscheinungen und die ihm eng verbundene Wärme wurden stets von der wägbaren Masse geschieden; sei es, daß die alte Anschauung von den Imponderabilien, oder die moderne Lehre des schwingenden Aethers in Betracht kommt. In beiden Fällen erscheint der wesentliche Vorgang von den Körpern unabhängig und bloß insofern mit ihnen verbunden, als er daran zur verschiedentlichen Kundgebung gelangt. Für einen großen Theil der letzteren ist gleichgiltig, wie man sich den inneren Aufbau der Materie vorstellt; bei einem anderen aber ergibt sich deutlich, daß jede Isolirung natürlicher Erscheinungen nur künstlichen und provisorischen Sinn zu Gunsten des Erforschens hat; daß dagegen in Wirklichkeit überall enge Verkettung der Thätigkeiten oder ihrer Unterlagen herrscht, welche auf höherer Stufe der Erkenntniß nicht übersehen werden darf. In diesem Sinne wird die Physik des Aether, des Trägers von Licht und Wärme, maßgebend für die Lehre von den materiellen Atomen.

2. Was über diese Frage Herr Gustav Theodor Fechner[2]) sagt, trifft für den damaligen Stand der Optik vollkommen zu, ist indeß von vorwaltend formaler Bedeutung. Es handelt sich um die Forderung, daß die gegenseitigen Entfernungen der schwin-

---

[1]) Über deren physiologischen Werth s. meinen Vortrag auf d. deutschen Naturforscher-Versammlung in Leipzig, 1872. (Sizg. d. physikal. Sect. am 16. Aug. — Tageblatt, Nr. VII. S. 113.) — [2]) Über die physikalische und philos. Atomenlehre II. Aufl., Leipzig, 1864. S. 23.

genden Aetherttheilchen nicht unendlich klein seien, sondern einen meßbaren Bruchtheil der kürzesten Lichtwelle bilden. Auch die Bemerkungen über Interferenz und Polarisation berühren fast ausschließlich den hypothetischen Träger der optischen Erscheinungen selbst. Natürlich ist auch diese formelle Seite der Angelegenheit wichtig, zumal der auf sie anwendbare mathematische Calcul in den fraglichen Theorien entscheidende Worte einerseits mitspricht, anderseits dabei zu einem in seiner Entwicklungs-Geschichte fast unerhörtem Zugeständniß veranlaßt wurde. Während nämlich die Methoden der Integration an sich und insbesondere auf der seinerzeitigen Ausbildungsstufe der materiellen Continuität durchweg höchst angemessen schienen, verstand sich demungeachtet Poisson[1]) zur Umgestaltung der analytischen Rechnungen, nachdem Fresnel[2]) die absolute Berührung der Elemente als reine, der Realität entbehrende, Abstraktion hingestellt hatte.

3. Bei der Wichtigkeit des auf die chromatische Dispersion bezüglichen Verhältnisses zwischen Wellenlänge und Lichtbrechung wird in der nächsten Abtheilung dieser Studien das einschlägige mathematisch-physikalische Material zur geschichtlichen Darstellung kommen. Nun hat die vorschreitende Erforschung dieser Angelegenheit ihr Seiten abgewonnen, welche zur Atomistik in thatsächlicher Beziehung stehen. Der Grundzug aller neueren Untersuchungen über Dispersion, Refraktion und verwandte optische Vorgänge liegt darin, daß dieselben nicht mehr ausschließlich dem Aether zugewiesen werden, sondern mit aller Bestimmtheit gefragt wird, welche Rolle hiebei die wägbaren Massentheilchen spielen, welche Wechselwirkung zwischen ihnen und dem schwingenden Aether statthabe, welche Folgen hieraus sowohl für das Licht, als für die Materie entstünden. Dadurch ist ersichtlich die Stellung der Atomenlehre zur Physik des Aethers eine wesentlich veränderte und viel innigere geworden — ja man darf, obschon der Gegenstand noch keineswegs abgeschlossen ist, behaupten, daß diese optischen Theorien die Walstatt bilden, auf welcher das Schicksal der physikalischen Atomistik entschieden wird. Da hier noch Vieles im Fluß sich befindet, gelangt ein weiterer Abschnitt, in welchem die stofflichen Beziehungen der Lichtstrahlen erläutert werden, nur zu provisorisch-theoretischem Abschluß. Mit ihm in innerem Zu-

[1]) Traité de Mécanique. — Sec. Ed. Paris, 1833. — I. 174. —
[2]) An. d. Chim. et d. Physique XXIII. 120. (Fechner, S. 26.) 1823.

sammenhang stehen die folgenden. Scheinbare Abweichungen von gut begründeten physikalischen Gesetzen springen kaum irgendwo so lebhaft in die Augen, als bei Farbenerscheinungen. Die hier dargelegten bieten nicht bloß sinnliches Interesse, sondern auch hervorragend theoretisches, weil sie die besten natürlichen Prüfsteine der molekularundulatorischen Lichtlehre sind.

4. Hiemit ist der Gegenstand noch nicht erschöpft. Abgesehen von optischen Einzelheiten, welche soviel möglich bei Gelegenheit berührt werden, muß um den vorgeschriebenen Raum nicht zu überschreiten, das Gebiet der thermalen Schwingungen einer abgekürzten Untersuchung überlassen bleiben. Hier kommen vornehmlich die längsten Aetherwellen in Betracht, welche großentheils über die rothe Grenze des sichtbaren Spektrums hinausreichen. Ich halte für wahrscheinlich, daß diese eben wegen ihrer weiteren räumlichen Erstreckung gröbere Molekularcomplexe oder doch Einzel-Moleküle als Atomgruppen im Ganzen zu übereinstimmenden Vibrationen veranlassen, welche als übertragene und geleitete Wärme an den wägbaren Körpern erscheinen. Den kürzesten Wellen im Ultraviolet schreibt man besonders chemische Wirkungen zu. Dieselben sind viel weiter verbreitet und mit den molekularmechanischen Absorptions-Phänomenen in so wesentlicher Beziehung, daß ihrer oft innerhalb dieser Untersuchung gedacht wird. Im Allgemeinen dürfte hinsichtlich der vibratorischen Übertragung der entgegengesetzte Fall wie bei der Wärmemittheilung vorliegen. Die kürzesten Wellen des Aethers sind zugleich die schnellsten, durch diese beiden Eigenschaften aber am meisten geschickt, das Gefüge der Moleküle zu lockern und innerhalb jedes einzelnen die Atome in Oscillationen zu versetzen, welche anfänglich intramolekular verlaufen, dann aber, in Form wie Amplitude durch Masse und Orientirung der kleinsten Elemente differenzirt, zu Zerfall und neuer Anordnung derselben führen. Diese Transformationen verlaufen, durch die Zahl der Moleküle bestimmt, nach uni-, bi-, multi-molekularem Schema[1]). Neben äußeren Umständen ist von Einfluß die Atombewegung und die Temperatur. Erniedrigung derselben verschiebt das Gleichgewicht materieller Zustände gegen

---

[1]) J. H. Van't Hoff. Studien über chemische Dynamik. Amsterdam, 1884, pp. 209. — Beibl. zu d. An. d. Physik. 1885. IX. 202—217. (E. Wiedemann).

das Molekularsystem hin, bei dessen Bildung Wärme frei wird. Verlief indeß die molekulare Gleichgewichtstörung ohne Temperaturvariation, so hat auch letztere keine Wirkung auf das homo- und heterogene (oder condensirte)[1]) Gleichgewicht. Optische Drehkraft und elektromotorische Erregung fließen oft aus solchen Akten.

II. Mathematische Entwicklung der Dispersion.

5. Robert Willis, seit 1837 Prof. der Physik in Cambridge, scheint zuerst die höheren Glieder der zur mathematischen Analyse von Schwingungen aufgestellten Reihen zur Berechnung beigezogen und durch diese gezeigt zu haben, daß von den Abstandwerthen der gleichnamigen Wellenpunkte die Dispersionsgröße abhänge. Die Schriften des genannten Forschers waren mir unzugänglich. Poggendorff[2]) verzeichnet von ihm neben hier sicher nicht in Betracht kommenden Arbeiten: **A system of apparatus for lectures on mechanical philosophy**; London, 1851 und: **Principles of mechanism**; London, 1841. Einzelne Abhandlungen veröffentlichte er in „**Transactions of the Cambridge Philos. Society**", welche auch die berühmte Untersuchung „über Vokaltöne und Zungenpfeifen"[3]) enthalten. Vielleicht wurde der ausgezeichnete deutsche Physiker Herr W. Weber, welcher schon früher auf letzteres Thema bezügliche Fragen in gediegenster Weise[4]) behandelt hatte, hiedurch auf Willis aufmerksam. Dessen optische Darlegung dürfte wenig bekannt geworden sein; und wenn auch deren Priorität auf desfallsige Mittheilung Webers an Fechner außer Zweifel steht, gewann doch bald Cauchy sehr viel größeren Einfluß auf den Gegenstand und verdient nach W. Thomson als Entdecker der dynamischen Theorie der prismatischen Farben zu gelten.

6. Bevor wir zu dessen classischen Forschungen uns wenden, scheint bemerkenswerth eine Äußerung von Thomas Young[5]).

[1]) Ihm ist eine Übergangtemperatur charakteristisch. — [2]) Biograph. literar. Handwörterbuch. Leipzig, 1863. (Barth) II. 1333. — [3]) Transact. etc. III. 231. (IV. 1833). — [4]) An. d. Physik. 1828. XIV. (90) 397—408. (Deutsche Natforsch. Vers. Berlin, 19.—21. Sept. 1828.)
[5]) Philos. Transact. of the Roy. Soc. of London, 1800 p. 106. 10. The analogy between Light and Sound.

Er hält Newton's Annahme des Vorhandenseins farbiger Elemente im Lichtstrahle durch Huyghens und Eulers Vibrationen erschüttert, und mit Letzterem für wahrscheinlich, daß die Farben in verschiedener Schwingungsgeschwindigkeit des Lichtäthers begründet seien. Für die chromatischen Oscillationen könnte als Normallänge („**a length as a basis for coloritic vibrations**") der auf eine gleichförmige Aetherschicht beschränkte Bahnantheil eines Strahles dienen. Die größte Schwierigkeit liege indeß in der verschiedenen Brechbarkeit der Farben und ihrer hiemit verbundenen Scheidung.

7. Cauchy übergab das Manuscript von „**Mémoire sur la dispersion de la lumière**" [1]) der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu Prag im Juni 1835. Ein Jahr danach geschah die Drucklegung auf Kosten jenes Instituts, nicht in der Reihe der gewöhnlichen Schriften, sondern wegen des großen Umfanges und hohen Werthes [2]) als selbständige Publication. In der Einleitung erwähnt der Autor, daß die Arbeit auf Rath von M. Coriolis entstand. Früher [3]) entwickelte partielle Differentialgleichungen stellten Fortpflanzung und Polarisation des Lichtes dar in Bewegungen eines Molekularsystemes mit wechselseits anziehenden und abstoßenden Kräften. Dagegen verriethen sie nichts über die Farben. Diese fordern, daß die prismatische Brechung in durchsichtigen Körpern den Lichtbestandtheilen verschiedene Geschwindigkeiten verleihe. Dann müßte jedoch ein Zusammenhang bestehen zwischen Schwingungsdauer und Leitungsschnelligkeit des Lichtes. War dies in den bis dahin der Dispersion untergelegten Formeln nicht ersichtlich, so mochte die Schuld darin liegen, daß beim Uebergang von den allgemeineren zu den besonderen Reihen Ausdrücke vernachlässigt wurden, deren Beibehaltung, wie sich bald ergab, nicht bloß die chromatische Dispersion, sondern auch andere Erscheinungen aufklärt.

8. Die zwei ersten Nummern enthalten Differentialgleichungen und deren Integrationen unter allgemein mechanischen Gesichtspunkten und der Voraussetzung, daß die Moleküle sehr wenig aus den Gleichgewichtlagen abweichen; die dritte wendet jene auf die Lehre vom Lichte an. In 130 Formeln wird

---

[1]) **Prague, 1836. J. G. Calve. 4° IV. 236 pp.** — [2]) **„Il surpassait tous les traités semblables d'autres écrivains dans cette partie". (Avis au Lecteur p. III.)** — [3]) **Exercices de mathématiques. 1827. III. 190. IV. 131; formules (11). V.**

unter steter Berücksichtigung der Aether-Elasticität doch ohne ausdrückliche Beziehung zu den körperlichen Molekülen, (welche Bezeichnung vielmehr den Aetherbestandtheilen beigelegt wird) an durchsichtigen, geradlinig oder in Schwingungs-Kurven polarisirenden, und doppelbrechenden Mitteln der Gang des Lichtstrahles verfolgt. Als Letzterer („rayon lumineux“) gilt die Gerade, welche die räumlichen Punkte verbindet, an denen die einzeln unmerklichen Molekularvibrationen durch Übereinanderlagerung zu gleichartiger Erscheinung kommen. Bedeutet l die Wellenlänge („l'epaisseur d'une onde plane“), Ω die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes, T die Dauer der Molekularoscillationen, so ist $l = \Omega\, T_{(I)}$. Wird $\Omega = s/k$ gesetzt, worin k eine reciproke Funktion der Wellenlänge $= 2\,\pi/l_{(II)}$, so erscheint $s = k\Omega = 2\,\pi/T_{(III.)}$ von der Schwingungsdauer oder der chromatischen Qualität abhängig.

9. In Nr. 4, handelnd von Fortpflanzung der Lichtwellen in einem Mittel, dessen Aether allseits von nämlicher Elasticität bleibt, resultirt die Formel $s^2 = a_1 k^2 + a_2 k^4 + a_3 k^6 + \ldots_{(IV.)}$ oder $\Omega^2 = a_1 + a_2 k^2 + a_3 k^4 = a_1 + a_2 (2\pi/l)^2 + a_3 (2\pi/l)^4 + \ldots_{(V.)}$ worin k, l, Ω bestimmt sind durch die Farbe und die Natur des optischen Leitungsmittels. — Nr. 5 bespricht die Lichtbrechung unter erfahrungsgemäßer Feststellung, daß die Farbenbeschaffenheit nicht geändert wird. Dies zeigt sich mathematisch darin, daß s, verkehrt proportional der Oscillationsdauer im Aether, nicht variirt beim Übergang des Strahles zwischen zwei Medien. Rothes Licht in der Luft erscheint auch dem unter Wasser getauchten Auge roth; und: Bei verändertem Einfallwinkel eines beliebig gefärbten Strahles, der auf die Oberfläche einer brechenden Masse fällt, besteht immer das nämliche Verhältniß des Incidenz- und Refraktions-Winkels. — Nr. 6 und 7 bringen Zahlenbelege nebst Anwendungen. In den Gleichungen (IV) und (V) nehmen die Coëfficienten der Potenzen von k sehr rasch ab. Ihr allgemeiner Ausdruck

$$(-1)^{n+1} a_n = S\Big((m r^{2n-1} \cos^{2n} \alpha \,/\, 1.2.3\ldots 2n)\,(f(r) + (1/(2n+1)) f(r) \cos^2 \alpha)\Big)_{(VI).}$$

ist eine Größe der (2n-1)ten Ordnung, wenn der Abstand zweier Aetherpunkte bei gegenseitiger Einwirkungsfähigkeit als sehr klein der ersten Ordnung gilt. Erfährt ein Strahl bestimmter Farbe Brechung beim Übergang zwischen zwei Mitteln, so bleiben S und T unverändert; k, l, Ω gehen beziehentlich über in nk, l/n, Ω/n, wenn n der Brechungsinder ist. Für letztere, auf die

Spektrallinien B, C, D, E, F, G, H und neben Luft für verschiedene flüssige wie feste Stoffe berechnet, folgen unter mannigfachen mathematischen Combinationen 25, später weitere 22 Tabellen.

10. Nr. 8. sagt betreffs der bis dahin gewonnenen Resultate, daß bei Voraussetzung constanter Elasticität des Aethers, die auf einfache Brechung bezüglichen Werthe von n_i^2 [1]) in ihren corrigirten vier Bestandtheilen abgesehen von den Zeichen eine fallende Reihe bilden. Diese mathematische Relation wird indeß hinfällig, sobald die betheiligte Substanz, wenn auch bloß schwache Doppelbrechung besitzt. Demnach wird von den betrachteten Stoffen Terpentinöl, an welchem Biot die Drehung der optischen Polarisations-Ebene erkannte, ausgeschlossen von der Berechnung, deren Ergebnisse neun fernere Tafeln füllen. — Nr. 9. betrachtet die Fortpflanzung des Lichtes in Mitteln, wo dessen Geschwindigkeit für alle Farben dieselbe bleibt. Wäre dies im leeren Raume nicht der Fall, so dürften uns die Sterne nicht als glänzende Punkte, sondern als schmale, in den Regenbogenfarben leuchtende Streifen erscheinen. Der Aether behält die ihm bei Wegfall aller wägbaren Materie eigenthümliche Gleichmäßigkeit für die Leitung verschieden langer Wellen auch in den Molekularinterstitien der Gase bei; denn diesen fehlt die Farbenzerstreuung des Lichtes fast ganz.

11. Aus $s^2 = {}^2/_{15}\, \pi\varrho\, Hk^2_{(VII.)}$, worin ϱ die Aetherdichte, H eine positive Constante bedeutet, wird mittels (III.) gefunden $\Omega^2 = {}^2/_{15}\, \pi\varrho H_{(VIII.)}$ Die hier ausgesprochene Unabhängigkeit der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Molekularschwingungen von der Vibrationsdauer entspricht dem leeren Raume und den Gasen. Für zwei Aetherpunkte ist dabei in der Nähe des Contactes die Abstoßung verkehrt proportional dem Biquadrat des Abstandes. — Werden die Massen aller Aether-Moleküle gleich angenommen, die Masse des einzelnen zur Einheit wählend, so ist H — die Abstoßungsstärke zweier Aether-Atome bei 1^m Entfernung — jedenfalls ein sehr kleiner Werth, und die Geschwindigkeit, welche hiedurch in $1^{sec.}$ jedem der beiden Punkte mitgetheilt wird, höchst unbeträchtlich. Die Aetherdichte ϱ ist gegeben in der Zahl der in $1^{cub.\,m}$ enthaltenen Atome. Die Durchschnittzahl der im gleichen Raume gefaßten wägbaren Moleküle sei D, G die Molekularanziehung in 1^m Abstand, also in $r^m =$

[1]) i ist eine beliebige ganze Zahl.

G/r^2, R der Halbmesser, $\frac{4}{3}R^3\pi$ das Volum der Erde, so wird das Maß der Schwere an der Oberfläche $\frac{4}{3}\pi$ D G R = g worin g = 9.8088, R = 6366745. Daraus wird DG = 0.0000003678, ϱH = 10 Ω^2 R D G / g. Der gegebene Werth 62448 $(10)^{13}$ DG (p. 193) ist nur angenähert („environ") berechnet. Weil D sicher als sehr groß gelten darf, muß G sehr klein sein, kaum 0.000001 übersteigend. In einem Raume, welcher wenige wägbare Moleküle enthält, zählen die Aether-Atome nach Milliarden. Auf sich selbst bezogen wäre mithin die Aetherdichte im Vorrang gegen die Materie; was begreiflich ins Gegentheil umschlägt, wenn die Maßeinheit der Dichte vom Gewicht der Moleküle, statt von deren Anzahl im Einheitsvolum, genommen wird. Bezeichnet analog $\varrho_,$ und $\Omega_,$ Aetherdichte wie Lichtgeschwindigkeit in einem dispersionslosen Medium z. B. Luft, so entspricht dem Ausdruck (VIII.) $\Omega^2_, = \frac{2}{15}\pi\varrho_,$ H mithin $\Omega_, = (\Omega \times \sqrt{\varrho_,}) : \sqrt{\varrho}$ (IX.); die Lichtgeschwindigkeit in einem Körper ohne Farbenzerstreuung ist proportional der Quadratwurzel der intramolekularen Aetherdichte. Ist n der Brechungsindex beim Übergang des Lichtes aus dem Leeren in dies Mittel, so steht $n = \Omega/\Omega_,$ und $n^2 = \varrho/\varrho_,$ (X.) Die Aetherdichte oder die Anzahl seiner Atome in der Volumen-Einheit ist demnach im Leeren größer, als innerhalb eines dispersionslosen Mittels; jedoch nur um Geringes, weil n von 1 in allen Gasen wenig abweicht. Daran schließen sich fünf Tabellen über einschlägige Verhältnisse.

12. Nr. 10 enthält neue Betrachtungen über die Refraktion, weil die älteren[1]), mit Fresnels Forschungen übereinstimmend, vorausgesetzt hatten, daß die Aetherdichte in allen Mitteln die nämliche bleibt, und mögliche molekulare Veränderungen nahe den Grenzflächen ungenügend beachtet hatten. — An sich höchst interessant steht dies unserem Gegenstande ferner als der nächste Abschnitt (11.) vom Zusammenhang zwischen der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes und den Wellenlängen. Für eine bestimmte Farbe ist die Dauer (T) der leuchtenden Schwingungen oder deren reciproker Werth $s = 2\pi/T$ in verschiedenen Mitteln constant; die Wellenlänge l oder die reciproke Größe $k = 2\pi/l$ steht in Beziehung zur Fortpflanzungs-Geschwindigkeit $\Omega = s/k$ nach der Gleichung (V.) oder für $b_1 = 1/a_1$, $b_2 = - a_2/a_1^3$, $b_3 = (2a_2^2 - a_1 a_3)/a_1^5$ $k^2 = b_1 s^2 + b_2 s^4 + b_3 s^6 + b_4 s^8 \ldots$ (XI.) wobei a und b von der Beschaffenheit des optischen Leitungsmittels abhängen.

[1]) Bulletin des sciences de M. d. Férussac, 1830.

Im leeren Raum und in dispersionslosen Mitteln, wie: Luft, verschwinden a_2, b_2; a_3, b_3 . . wonach bleibt $s^2/k^2 = a_1 = \Omega^2$ d. h. die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit ist unabhängig von der Wellenlänge, weil s und k einander proportional sind. $k, = nk$ ist die mathematische Änderung von k bei Ersatz der Luft durch ein anderes Mittel vom Brechungsindex n, für welchen steht $n^2 = b_1 \Omega^2 + b_2 \Omega^4 s^2 + b_3 \Omega^6 s^4 + \ldots$ (XII.) Diese allgemeine Formel gibt sieben besondere Werthe, indem s in den entsprechenden Größen der Frauenhoferschen Wellenlängen: B, C, D, E, F, G, H ausgedrückt wird.

13. Von angereihten analytischen Entwickelungen, welche im Auszug aus inneren, und in extenso aus äußeren Gründen hier nicht wiederzugeben sind, erwähne ich die kurze Ableitung $s = \Omega k = 2\pi \Omega l^{-1}$; werden Ω, k, l auf die atmosphärische Luft bezogen, so ist Ω identisch für alle Farben. Bezeichnet man mit k_i, l_i die Werthe von k, l für $s = s_i$, so wird
$s_i^m = \Omega^m k_i^m = (2\pi\Omega)^m / l_i^m$ (XIII.) Sind $\triangle k_i^m, \triangle^2 k_i^m$; $\triangle l_i^{-m}$, $\triangle^2 l_i^{-m}$ analog den Differenzen $\triangle s_i^m, \triangle^2 s_i^m$ aus $\triangle s_i^m = \beta_i S' \triangle s_i^m + \triangle^2 s_i^m$, $\triangle^2 s_i^m = \gamma_i S_{,,} \triangle^2 s_i^m + \triangle^3 s_i^m$ . . . wenn s_i^m ersetzt wird durch k_i^m oder l_i^{-m}, so kommt schließlich
$k_i^m = \frac{1}{7} S k_i^m + \beta_i S_{,} \triangle k_i^m + \gamma_i S_{,,} \triangle^2 k_i^m + \delta_i S_{,,,} \triangle^3 k_i^m$ (XIV.)
$1/l_i^m = {}^1/_7 S l_i^{-m} + \beta_i S_{,} \triangle l_i^{-m} + \gamma_i S_{,,} \triangle^2 l_i^{-m} + \delta_i S_{,,,} \triangle^3 l_i^{-m}$.—

Nun folgen 14 Tabellen für Zahlenwerthe der einschlägigen Größen, während die letzte Nummer die durch Annäherung erster Ordnung gelieferten Resultate darstellt.

14. Vierzehn Jahre später, nachdem bei anderen optischen Arbeiten der Gegenstand oft von ihm berührt und gefördert wurde, kam M. Augustin Cauchy ausdrücklich auf das „**Mémoire sur la dispersion**“ zurück: in diesem, wie den Vorlesungen am **Collége de France** vom 19. und 22. Juni 1830 seien die Formeln enthalten über die Farbenzerstreuung, deren Theorie M. Arago in einfacher leicht faßlicher Form dargestellt wünschte. Cauchy kommt dem Verlangen „seines berühmten Mitbruders“ noch besonders nach in der Sitzung der französischen Akademie vom 23. Dezember 1850[1]). Ausgehend von Fresnels und Youngs Transversalschwingungen des Lichtes in durchsichtig-isophanen Mitteln wird die Verschiebung jedes Atomes proportional gesetzt einer goniometrischen Funktion der Phase. Die Punkte, deren Verschiebungen im nämlichen Augenblick gleich sind, fallen in äquidistante Parallelebenen. Nachdem im Allgemeinen

[1]) Comptes rendus; Paris, 1850. XXXI. 842—843.

die Schwingungen eines atomistischen „Reticulärsystemes" charakterisirt sind mit Beiziehung des d'Alembert'schen Prinzipes, ist am Schluß andeutungsweise des Gesetzes der Dispersion gedacht. In einem reticulären Transversalschwingungssystem ist die zur Hervorrufung jeder atomistischen Einzelbewegung fähige Kraft zurückführbar auf das Product der Verschiebung dieses Atomes mal dem Quadrat des auf die Phase bezüglichen Zeitcoëfficienten („coefficient du temps dans la phase"). Wird die Resultante der auf das erste Atom von zwei conjugirten Atomen geübten Wirkungen projicirt auf die Verschiebungsrichtung, so ist die Projektion proportional einerseits der Verschiebung des ersten Atoms, anderseits dem **sinus versus** der Variation, welche die Phase erfährt bei der „Passage" des ersten Atomes an Stelle eines der anderen. Die Coëfficienten der Zeit und der Abscisse für die Phase sind in einer Gleichung verbunden, welche die Abhängigkeit der atomistischen Vibrationsdauer von der Wellenlänge zeigt.

15. Aus den, die Dispersion und Verwandtes betreffenden Briefen von M. Aug. Cauchy an M. Ampère[1]) enthält der zweite merkwürdige Hinblicke auf die Atomenlehre. Um die Wurzeln der kubischen Gleichung zwischen s und k, welche beziehentlich der Schwingungszeit der Aethertheilchen und den Wellenlängen verkehrt proportional sind, in geschlossener Form zu geben, sei r der Molekular-Abstand, $f(r)$ die Wechselwirkung zweier Moleküle, so tritt nach Gestaltung der dreifachen Summen zu Integralen die doppelte Wurzel als Summe eines mit k^2 proportionalen und eines constanten Gliedes auf. In diesem steht als Factor der einem unendlichen Werth von r entsprechende Ausdruck $r^2 f(r)$; in jenem $r^n f(r)$ für $r = o$. Geht letztere Größe in eine geschlossene Constante über, was geschieht, wenn $f(r) = (A/r^n)\, e^{nr}$, so verschwindet der erste Werth von s^2 ebensogut, als in dem Falle, da $r^2 f(r)$ für $r = \infty$ und $f(r) = A/r^2$ constant wird. Erstere Hypothese dürfte der Aetherbewegung im leeren Weltraum entsprechen; die zweite den Molekularbewegungen wägbarer Körper.

16. Über Cauchy's Dispersionstheorie spricht sich zuerst aus John Tovey[2]) allerdings in mittelbarer Berufung

---

[1]) Comptes rendus. 1836. I. 182. 207. 364. — An. d. Physik. 1836. XXXIX. (115) S. 37. — [2]) Philosophical Magz. (3) VIII. 7. — An. d. Physik. 1836. XXXVII. (113.) 360.

auf Powells[1]) Abriß der Undulationslehre und Airy's „Tracts"[2]) aber mit directer Bezugnahme zur gegenwärtigen Frage. Es handelt sich um die Relation zwischen der Lichtgeschwindigkeit und Wellenlänge unter Voraussetzung einer solchen Lagerung der Moleküle, daß deren Abstände in merklichem Verhältniß zu jener optischen Dimension stehen. Die Kräftebeziehungen der Theilchen mit gleicher Masse hängen von dieser und der Entfernung ab, so daß das Schicksal jedes Partikels nur von den Anziehungen und Abstoßungen der übrigen bestimmt wird. Dies ist ausgedrückt in den statischen Gleichungen

$$m\,S(fr/r)\triangle x = o,\ m\,S(fr/r)\triangle y = o,\ m\,S(fr/r)\triangle z = o \quad \text{(I.)}$$

Das Gleichgewicht des Systemes werde gestört durch partikulare Verschiebungen um x, y, z, klein genug, daß deren Producte wie höhere Potenzen einflußlos erscheinen. Dann erhält man $X = m\,S\,(f\,(r + \triangle r)/(r + \triangle r)\,) \times (\triangle x + \triangle x,)$ nebst zwei analogen Ausdrücken zwischen $Y, y, y,$; $Z, z, z,$. Mittels Umformung entsteht für gleichgerichtete Linear-Schwingungen $d^2x,/dt^2 = m S(\varphi(r) + \psi(r)\triangle x^2)\triangle x,$ (II.) Ist das Gleichgewicht der Theilchen so geordnet, daß je zwei gleichweit beiderseits von einem mittleren Punkte liegen, so können die positiven und negativen Glieder für sich summirt werden. Alle ungeraden Potenzen von $\triangle z$ verschwinden, alle geraden sind positiv. Gilt x, als zeitliche Funktion von Z, so steht

$$\triangle x, = (dx,/dz).\triangle z + (d^2x,/dz^2).\triangle z^2/_2 + (d^3x,/dz^3).\triangle z^3/_{2\cdot 3} + \dots$$

und (II.) geht über in $d^2x,/dt^2 = s^2.d^2x,/dz^2 + s,^2.d^4x,/dz^4 \dots$ (III.) dessen Integral die Beziehung zwischen Lichtgeschwindigkeit und Wellenlänge darstellt. Diese Relation hängt außer vom Verhältniß der Schwingungs-Punkt-Interstitien zur Wellenlänge auch ab vom Halbmesser der Wirkungssphären vibratorisch erregter Stellen.

17. Neben M. Cauchy steht unter den Autoren der optischen Theorien M. Fresnel in erster Linie. Von dessen vielen Arbeiten ist für unseren Zweck wichtig Mehreres aus der Abhandlung

---

[1]) Rev. Baden Powell, M. A.; Undulation and Dispersion. London 1841. (On certain points in the theory of Undulation, related to the hypothesis of the symmetrical arrangement of the molecules. — Phil. Magz. (2) XVIII. — On Cauchy's th. etc. VI. VIII. X. XI. XII.) —
[2]) S. auch: Phil. Magz. (3.) II 419 (Brief an Sir Brewster) An. d. Physik 1833. XXIX. (105.) 331. (Vertheidigung der Undulations-Lehre u. A. mittels Behandlung der Frage, ob die Dispersion ein Einwand gegen die Molekulartheorie sei.)

über die doppelte Strahlenbrechung[1]. Durch Anerkennung getrennter Lichtmoleküle wird sofort bestimmte Stellung zur Atomistik genommen; ferner in der Annahme, daß in doppelbrechenden Stoffen die Beziehungen der Vibrationen mit den Durchgangsrichtungen wechseln, ein Zusammenhang zwischen der Fortpflanzung des Lichtes und den Massentheilchen zugelassen, welcher, hier zeitlich wie räumlich beschränkt, später auf höherer Ausbildungsstufe, uns wieder begegnet. Der zunächst auf polarisirtes Licht bezogene Beweis der Transversalschwingungen ist auf gewöhnliche Strahlen übertragbar, weil, wenn vor der polarisirenden Doppelbrechung der einfallende Strahl auch andre als transversale Schwingungen besaß, diese im, nur solche zulassenden, Medium verschwänden; demnach bei der Doppelbrechung eine, nicht erfahrungsmäßige, Intensitätsschwächung auftrete. Neben den Interferenzen polarisirter Strahlen wird der Circular-Polarisation gedacht und ihre von Rechts nach Links oder umgekehrt stattfindende Modification bezogen auf schraubenförmige Lagerung der Moleküle.

18. Der Gang transversaler Schwingungen durch Gase wird verfolgt mit der Erklärung, daß diese Vereinigungen materieller Punkte seien, in großen Abständen erhalten durch Repulsivkräfte, welche sowohl der centralen Anziehung als peripherischem Drucke Gleichgewicht halten.

19. Sehr bemerkenswerth und auf den nächsten Abschnitt vorbereitend sind folgende Erwägungen Fresnels: die Doppelbrechung setzt eine eigenthümliche Structur des Fortpflanzungsmittels voraus. Dies ist nicht zufällig, sondern von optisch prinzipieller Bedeutung, so daß auch andere, mit jener verbundene Phänomene darausfließen. (Polarisation). Unannehmbar findet er die Hypothese, es könne das durchsichtige Substrat und der intermolekulare Aether für sich einen Wellenzug fortleiten, den gewöhnlichen und extraordinären Strahl trennend. Ob die Körpermoleküle an den Lichtschwingungen theilnehmen, oder der Aether allein vibrire, wird unentschieden gelassen. Im ersten Fall ist an sich verständlich, daß die Elasticität im brechenden Mittel mit der Molekularschwingungsrichtung verändert werde; im zweiten müßte man annehmen, daß die Massentheilchen auf die um- und zwischenlagernden Aetherpunkte wie deren gegen-

[1]) Mémoire de l'Acad. roy. d. Sciences. 1827. VII. 45. An. d. Physik. 1831. XXIII. (99.) 372.

seitige Beziehungen größeren oder kleineren Einfluß in verschiedenen Richtungen hätten.

20. Von vielen hier in geringeren Betracht kommenden Fragen zur Farbenzerstreuung übergehend erklärt Fresnel die Erfahrung, daß die den Eindruck chromatischer Differenzen hervorrufenden verschieden langen Wellen im Mittel mit ungleicher Geschwindigkeit verlaufen, aus der, mit den Lichtwellenlängen wechselnden, Aetherelasticität. Letztere Variation könne nicht eintreten, wenn der Wirkungskreis der Molekularaction gegen die Undulations-Erstreckung unendlich klein sei; wohl aber, sofern die Moleküle aufeinanderwirken in Entfernungen, welche einer Lichtwelle gegenüber merkliche Werthe haben.

21. Hierher gehört eine Äußerung von Airy:[1]) Die ungleiche Brechung verschiedener Farbenstrahlen setzt differente Geschwindigkeit voraus. Dieser Unterschied kommt wahrscheinlich erst im brechenden Mittel zur Geltung, unabhängig von der Größe der Lichtschwingungen wie von der Vibration angrenzender Molekel, vielleicht in Form eines zeitlich bedingten Vorganges, welcher die Elasticität ähnlich abändert, wie die Wärme diejenige der Luft.

III. Beziehung zwischen wägbaren Massentheilchen und den Lichtwellen.

22. Das Bedürfniß, die am Lichtäther ablaufenden Erscheinungen mit den wägbaren Massentheilchen in wesentliche Beziehung zu bringen, tritt fast bei allen optischen Forschungen der zweiten Hälfte dieses Jahrhundert immer bewußter und erfolgreicher hervor. In erster Linie steht in dieser Hinsicht Redtenbachers „Dynamidensystem"[2]). Dasselbe

[1]) Transactions of the Cambridge Phil. Soc; 1830. IV. (Nature of the light in the two rays produced by the double refraction of Quartz.) — [2]) Grundzüge einer mechanischen Physik. Mannheim, 1857. Baßermann. 4⁰. X. 142. Mit 1 Tfl.

stützt sich auf die Theorien von Dalton, Poisson, Cauchy und nimmt von des Letzten Dispersions-Memoire ausdrücklich Notiz, ist aber, während dieser[1]) die Wechselwirkung zwischen Körper-Molekeln und Aether-Atomen weniger berücksichtigt, gerade hierauf eingerichtet.

23. „Dynamide" heißt „ein Körperatom mit der dasselbe umgebenden Aetherhülle". Zur Feststellung des Gleichgewichtes eines aus solchen bestehenden Systemes muß untersucht werden: Die Lage der Molekularschwerpunkte, die Achsenrichtung jedes Atomes, die Gruppirung des Aethers. Schwingungen desselben sind ohne Hereinziehung der wägbaren Masse unmöglich. In einem Mittel von allerwärts gleicher Elasticität erregen die vom Coordinaten-Nullpunkt äquidistant schwingenden Atome identische Elementarwellen von der gemeinsamen Form $(l - \mathfrak{D}_1{}^2)(m - \mathfrak{D}_2{}^2)(n - \mathfrak{D}_3{}^2)$ (I.) Von den daraus bestimmbaren drei Werthen für $\mathfrak{D}^2$ entsprechen bloß zwei Transversalwellen, welche am Lichte allein vorkommen. Wird an deren Ausdruck

$$(\mathfrak{A} + \varepsilon)/2 - S\,(u/r)(\,J(r) + (\,(d\,(Jr/r))/dr)\triangle y^2)\,(\sin{}^{\alpha}/_2 \triangle x)^2 \quad \text{(II.)}$$

die Wellenlänge berücksichtigt, so ändert sich ein bestimmter Werth beim Uebergang in ein neues Mittel nach $\lambda_, = \lambda/k$, wo λ die erste, $\lambda_,$ die zweite Wellenlänge, k das Brechungsverhältniß beider Medien bedeutet. Die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit einer Welle mit der Länge l, dem Abstande vom Erregungs-Punkte α, der Schwingungszeit $\mathfrak{D}$ ist $v = \mathfrak{D}/\alpha = (A_0/\alpha^2 + A_2 + A_4\alpha^2 \ldots)^{1/2}$ (III.) worin A_0 von den Körper-Atomen; A_2, $A_4 \ldots$ vom Aether abhängen. Die Totalbewegung aller Schwingungsreihen der einzelnen Farben wird erhalten, wenn successive α von 0 bis ∞ variirt. Für den leeren Raum ist $A_0 = o$. Weichen die anderen Coëfficienten, wenn auch sehr wenig, von Null ab, so hat jede Elementarschwingung eine eigene Wellenlänge, eine bestimmte Vibrationsdauer und charakteristische Farbe. Ist l die Wellenlänge einer solchen, c die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des farblosen Lichtes in der Leere, k der Brechungsindex eines neuen Mediums, so wird $c^2/k^2 = A_0 l^2/4\pi^2 k^2 + A_2 + A_4 4\pi^2 k^2/l^2$ (IV.) Sofern k mit l wenig schwankt, stellt

$$1/k^2 = A_2 / c^2 + A_0 A_2 l^2 / 4\pi^2 c^4 + 4 A_4 \pi^2 / A_2 l^2 \quad \text{(V.)}$$

---

[1]) Thomson (Exner, Repertor. d. Physik, 1885, XXI, 224) nennt allerdings Cauchy den ersten Mathematiker oder Naturforscher, der die Dispersion des Lichtes nur mittels eines gewissen Grades von molekularer Grobkörnigkeit in der materiellen Structur erklärte.

die Brechungsverhältnisse verschiedenfarbiger Strahlen dar; mit der Bestimmung, daß in allen Körpern Farbenzerstreuung statthat, wo A_0 und A_4 von Null abweichen.

24. Die chromatische Dispersion erscheint ausschließlich in den Aetherschwingungen begründet, auf welche indeß Vibrationen der Körper-Moleküle bestimmenden Einfluß äußern. Als Translationsgleichung letzterer steht

$$V^2 = -1/2\, S\, m/r \,(f(r) + ((d(fr/r))/dr) \triangle y^2) \triangle x^2/_2 + \alpha^2/_2\, S\, m/r \,(f(r) + ((d(fr/r))/dr) \triangle y^2) \triangle x^4/2.3.4. \quad (VI.)$$

Der Vergleich mit (III.) ergibt, daß trotz der relativen Größe eines körperlichen Massentheilchens m das erste Glied in (VI.) viel kleiner ist, als A_2, weil nach der Erfahrung V gegen v fast verschwindet. Das zweite Glied von (VI.) weicht wenig von Null ab, denn fr, die vom Abstand r abhängige Molekularanziehung, nimmt mit steigendem r sehr schnell ab; damit ist aber die Farbenzerstreuung als Masseneffect so gut wie ausgeschlossen. Dagegen fließen aus (V.) zwei Anläſſe zur Dispersion, indem das zweite Glied von der Einwirkung der wägbaren Moleküle auf die Aetheratome, das dritte nur von letzteren allein abhängt. Bei Cauchy fällt jene außer Betracht; in Berücksichtigung derselben wird verständlich, daß die Dispersionskraft für jeden Körper individuell erscheint.

25. Das hier in vornehmlichem Bezug auf die Dispersion besprochene Dynamidensystem unterzieht H. Fr. Eisenlohr einer allgemeineren Betrachtung [1]). Er selbst geht zur Erklärung der Farbenzerstreuung [2]) aus von Cauchys Ansicht, daß der Aether, um die Körper-Moleküle herum angehäuft, in der Dichte periodisch wechsle. In der Gleichung für die Geschwindigkeit des fortgepflanzten Lichtes $s^2/u^2 = 2\pi\,\delta\, f\varrho\, \varrho^5 (1 - u^2\varrho^2/28 \ldots)$ bestimmt $u^2\varrho^2/28$ die Leitung verschiedener Farben durch brechende Mittel.

26. Broch [3]) beanstandet, daß $u\varrho$ im leeren Raume entsprechend der gleichen Fortpflanzung aller Farben als verschwindend, in dispersionsfähigen Körpern aber als hochwerthig gelte; er schreibt lieber die Farbenzerstreuung dem störenden Einfluß zu, welchen die Anziehung der Massentheilchen auf die Aetheratome übt, denen gegenüber jene so gut wie ruhend anzusehen sind. Ihre Mitwirkung wäre vielleicht weniger

[1]) Krit. Zeitschrift f. Chemie, Physik, Mathematik. 1858. S. 50. 59. — [2]) An. d. Physik. 1860. CIX. (185) S. 215—244. — [3]) Dove, Repertor. d. Physik. VII.

dynamisch im Bewegungs-Acte selbst, als die statische Anordnung des Aethers bedingend.

27. H. Christoffel in Berlin[1]) vermißt in Cauchys Dispersionstheorie eine genügende Erörterung der molekularen Grundfrage, ob die Abhängigkeit der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes von der Wellenlänge in, der Erfahrung entsprechenden, Werthen nachweislich sei. Für anisotrope Mittel zeigt die prüfende Rechnung das gewöhnliche Dispersionsgesetz als zulässig. Dagegen gibt das Original, auf das für die Entwicklung verwiesen werden muß, eine Dispersionsformel, worin die Wellenlänge im nicht dispersiven Mittel und das Brechungsverhältniß beim Übergang in ein isotropes Medium für einen willkürlichen und einen physikalisch bestimmbaren Strahl verbunden sind.

28. H. L. Lorenz in Kopenhagen[2]) macht die Farbenzerstreuung abhängig von der periodischen Heterogenität der Körper, welche auf Variationen der Aetherdichte in den Intermolekularräumen hinweist. Zwanzig Jahre später[3]) leitet derselbe Forscher das Dispersionsphänomen in isotropdurchsichtigen Körpern von Wellenlänge und Massendichte her. Vorausgesetzt wird, daß die Körper aus discreten Theilchen bestehen, daß der Intermolekular-Aether wesentlich dieselben Eigenschaften hat, wie im leeren Raume, doch aber mit der physischen Beschaffenheit der Atome etwa so verknüpft ist, daß die Geschwindigkeit der Schwingungen durch die Entfernung von den mathematischen Atomcentren bestimmt wird. Gilt 2δ als Mittel-Entfernung zweier Nachbar-Atome, so ist es in stark verdünnten Gasen mehrere hundertmal, im Wasser etwa 5000fach kleiner, als eine Wellenlänge sichtbaren Lichtes. Die Brechung in einem isotropdurchsichtigen Körper mit gewöhnlicher Dispersion wird gegeben durch

$$(A^2-1)/d(A^2+2)=R,(N^2-A^2)/d(N^2+2A^2)=D=a/\lambda^2+b/\lambda^4+\ldots$$

worin N der Brechungsindex, d die Dichte, R und D zwei von letzterer unabhängige Constante sind, A aber den Refraktions-Exponenten für $\lambda=\infty$ bedeutet, und aus $\sqrt{N^2-b/\lambda^2}$ für die Natriumlinie berechnet wird.

29. Besonders wichtig für die Atomenlehre in der Optik sind die Untersuchungen von Herrn Ketteler in Bonn[4]),

[1]) Monat-Ber. d. Berliner Akad. 14. u. 31. Oktb. 1861. (An. CXVII. 27.) — [2]) An. d. Physik. 1863. CXVIII. (194) S. 111—145. — [3]) An. d. Physik. 1883. XX. (256) S. 1—21. — [4]) Mon.-Ber. d. Berliner Akad. Febr. 1870. — An. d. Physik 1870. CXL. (216.) S. 1—53. 177—219.

welcher seit 1865 danach strebt, seine Studien über die Unabhängigkeit der relativen Anordnung der Spektrallinien in Gasen von deren Dichte auf flüssige und feste Körper zu übertragen. Eine rationelle Dispersionformel soll bei gegebener Dichte des farbenzerstreuenden Mittels die Erscheinungen aus den Wellenlängen berechnen lassen mit Beihilfe von Constanten bestimmten physikalischen Sinnes, an den Aenderungen der Molekularstructur in einfacher Weise theilnehmend. Die bis dahin verfügbaren Formeln gewähren dies nicht. Zu Cauchys abgekürzter Reihe [1]) fügte schon **van der Willigen** [2]) ein negatives drittes Glied mit dem Nenner l^4 bei; gegenwärtig muß sie durch Kl^2 ergänzt werden. Als empirische Interpolationsformel der Farbenzerstreuung kann dienen

$1/n^2 = A/(1 - kl^2) + B/l^2 - C$,,) oder nach anderer Form ,, „ $Kl^2 + A + B/l^2 + \ldots$

Der Coëfficient k hat in isotropen Stoffen äußerst verschiedene Werthe; bleibt aber im Allgemeinen stets positiv; kann auch in Krystallen, deren Moleculardichte mit der Orientirung wechselt, vernachlässigt werden. Die anderen Constanten beziehen sich auf den Grad des Dispersionsvermögen. Während dasselbe in Gasen von der Dichte unabhängig ist, spielen in flüssigen und festen Körpern die Cohäsionszustände eine einflußreiche Rolle, so daß wenigstens in krystallinischen Substanzen Unveränderlichkeit der Zerstreuungskraft höchstens auf einer Linie herrscht, längs deren die, mit den Richtungen variable, Dichtigkeit der wägbaren Moleküle bleibend ist.

30. Zur Frage ob die Constanten aus den Elementen der Molekularconstitution entwickelbar sind, wird **Briots „Essais sur la théorie mathématique de la lumière“** [3]) beigezogen. Die wägbaren Körper werden betrachtet als Aggregate ponderabler Massentheilchen und ätherischer Punkte mit dreierlei Kräften, attraktiv zwischen je zwei ersten wie unter jenen und diesen, repulsiv bei letzteren. Nur für den nirgend verwirklichten Fall absoluter Durchsichtigkeit würde eine von Außen eintretende Aetherwellenreihe ohne irgendwelchen Bezug auf die völlig ruhenden ponderablen Theilchen durchgehen. Die Kraft zwischen ätherischen und ponderablen Atomen stört die gleichförmige Dichte des reinen Aethers, so daß innerhalb eines Systemes dieselbe

[1]) Siehe (V.) Nr. 9 dieser Studien S. 10. — [2]) Archives du musée Teyler. I. (2) p. 64. 182. 223. — [3]) Paris, 1864. Uebrs. v. Klinkerfues. Leipzig, 1867.

punktuell variirt, an correspondirenden Punkten mehrerer Elemente aber übereinstimmt.

31. Der statische Einfluß der wägbaren Moleküle auf die Anordnung der Aether-Atome ist in den Gleichungen darstellbar

$$\delta x = a, \sin i (\alpha x + \beta y + \gamma z)$$
$$\delta y = b, \sin i (\alpha x + \beta y + \gamma z)$$
$$\delta z = c, \sin i (\alpha x + \beta y + \gamma z)$$

worin x, y, z die Coordinaten eines Aetherpunktes, i eine beliebige ganze Zahl, die übrigen Buchstaben empirische Coëfficienten bedeuten. Physikalisch folgt daraus, daß der Aether zwischen den Massentheilchen ähnlich angeordnet sei, wie die Luft zwischen den Dichtemaximis einer akustischen Längswelle. — In dynamischer Hinsicht werden während der Aetherschwingungen die Abstände heterogener Molekel verändert. Ist die Kraftbeziehung zwischen einem wägbaren und ätherischem Atom $m m, r, f_1 (r,)$ wobei m, und m beziehentlich die Masse jenes und dieses, r, ihre gegenseitige Entfernung sei, so verfällt der Ausdruck für verschiedene Systempunkte Variationen, deren Resultante als periodische Funktion erscheint. Aus den entsprechenden Differentialgleichungen erwächst für die Mittelgröße der Kraft-Componenten $m X = m Y = (g + h) k^2 + (g, + h,)$ und für die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit $v^2 = (g + h) + (g, + h,) (l^2/4\pi^2)$ (wenn $g, = \Sigma m f_1 (r,)$, $h, = {}^1/_3 \Sigma m, f'_1 (r,)$). Diese hängt zwar größtentheils von der Durchschnittdichte des gegebenen Aethers ab, doch auch vom Einfluß der wägbaren Moleküle, welcher mit der n. Potenz des Abstandes variirt, und wahrscheinlich bei abnehmender Dichte des Dispersionsmediums schneller zurückgeht, als die Bedeutung der periodischen Aetherungleichheiten. Der Amplitude dieser, für welche die Quadratwurzel der Dichte maßgebend ist, erscheint die chromatische Dispersion der Gase proportional. Die chemische Qualität kommt hiebei bloß insofern in Betracht, daß sie die Aetherhüllen der Moleküle, demnach die periodischen Ungleichheiten jener eigenthümlich gestalten kann. — In beiden anderen Aggregat-Zuständen variiren die letzteren weit langsamer, oft kaum merklich, mit der Dichte, und die zerstreuende Kraft ist nahe der Maximal-Amplitude proportional. — Die zwei dispersiv einflußreichen Kräfte, die periodische Variation des Aethers und die Wirkung der Massentheilchen agiren nicht in allen Stoffen mit verhältnißmäßig gleichen Werthen; vielmehr tritt da und dort die eine oder andere zur hervorragenden Bethätigung.

32. H. C. Wittwer, vielfach mit der Molekular-Physik[1]) beschäftigt, stellt für das Gleichgewicht zwischen Aether und Massentheilchen die Formel hin $a\,m\,\mu = b\,M\mu = o$ (M, m, μ beziehentlich die träge Substanz-Quantität der Aether-Molekularrinde, des Massentheilchens, und eines freien Aetherpunktes; a, b: die Einheitswirkung von Masse und Aether, wie des letzteren unter sich). Aus der Strahlbrechung, deren Index in allen Körpern 1 übersteigt, oder der damit zusammenhängenden Verminderung der Lichtgeschwindigkeit wird geschlossen, daß in durchsichtigen Stoffen die Aetherdichte kleiner sei als im leeren Raum, und zwar insbesondere in Nähe der wägbaren Atome, welche durch ihre im verkehrten Quadratverhältniß des Abstandes wirksame Anziehung nur eine andere Vertheilung der benachbarten Aetherpunkte bewerkstelligen. Eine physikalische Folge ist die Dispersion, welche der atomistisch genäherte Aether übt.

33. Die im leeren Raume der Quadratwurzel der linearen Aetherdichte δ proportionale Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes ist für ein Gas mit der Constanten A ... $c = \sqrt{\delta/A}$ oder $n = \sqrt{A_{,}/\delta}$ (Brechungsindex: n, A, entsprechende Constante). $n^2 - 1 = ad$ (Dichte des Gases: d, a entspr. Constante). Die Aethermenge M in einer Gaskugel vom Volum V ist $M = V\delta^3 = V\,A_{,}^3\,(1 - 3\,ad)$ oder, weil $d = m/V$, wenn m die Anzahl der im Volum V enthaltenen Gas-Molekel ist, $M = A_{,}^3\,(V - 3\,am) = V\,A_{,}^3 - 3\,A_{,}^3 am$. Eine gleich große freie Aetherkugel faßt $M_{,} = V\,A_{,}^3$ da $m = o$, wonach $M_{,} - M = 3\,A_{,}^3 am$, woraus folgt: „Drückt man ein Gas zusammen, so wird Aether abgeschieden, und die Quantität des abgeschiedenen Aethers ist gerade so groß, als in einem Volumen des freien Aethers sich befindet, das dem Gesammtbetrag der Compression gleichkommt." Dem Lichte gegenüber gilt der überschüssige Aether der Dynamiden als Vergrößerung der molekularen Kernsubstanz und hat für die Schwingungen keine Bedeutung. Wären alle Körper von einfach atomistischer Structur, so erschiene der Aetherüberschuß aller Dynamiden constant, und das Brechungsvermögen übereinstimmend, während es thatsächlich von der Molekulararchitektonik abhängt und bei besonderen

[1]) Die Molekular-Gesetze. Leipzig, 1871. (Teubner.) — Grundzüge d. Molekularphysik und mathemat. Chemie. Stuttgart, 1885. VII. 198 S. (3 Tfln.) Bei K. Wittwer.

geometrischen Umständen zur chromatisch-dispersiven Scheidung führt. Diese verläuft wesentlich im Aether, doch unter Einfluß der Massen-Atome; ist in Gasen verschwindend klein und wächst in flüssigen und festen Stoffen ohne genaue Proportionalität mit deren Dichte.

34. Über die Aetherdichte sei ein Blick auf Herrn P. Glan's[1]) Angaben gestattet. Aus W. Thomson's[2]) Annahme der in $1^{cub'}$ enthaltenen Aethermenge $= 83 g / V^3 n^2$ folgt als untere Massengrenze $1/1560 \times 10^{17}$. Für das Verhältniß zwischen Lichtfortpflanzungs- und Vibrations-Geschwindigkeit ($n < 1/50$) sucht H. Glan eine obere Grenze in der Unzerreißbarkeit des Aethers. Dessen Dilatationsmaximum fand F. E. Neumann aus Brewster's Beobachtungen in Glas $\sqrt{1 + n^2} - 1 = 1/1443$, $n = 1/27$. Durch Vergleich mit Buijs-Ballots[3]) Versuchen über Zerfall und Dilatation eines Wasserfadens folgt weiters, daß der Aether in 1^{cubm} mehr Masse habe, als $1/10^{14 cubm}$ mit H gefüllt, die untere Grenze seiner Dichte also 7416mal größer sei, als Thomson meint. Dagegen wendet Herr E. Wiedemann[4]) mit Recht ein, daß bei den Wasserversuchen eigentlich die Capillaritäts-Constante gemessen werde. Besseren Aufschluß geben Berthelots[5]) Experimente zeigend, daß zwei Wassermoleküle ohne Störung der Continuität ihren Abstand um 0.001 erweitern dürfen. Dieser, wohl auch für feste Körper giltige, Werth übersteigt weit Glan's desfallsige Größe $1/37 \times 10^6$. Aus letzterem folgt $n = 1/4306$, aus ersterem $= 1/23$ und hiemit das Gewicht der Gewichteinheit Aether etwa 4mal so groß als Thomson zuläßt.

IV. Anomale Dispersion.

35. Zur gewöhnlichen Farbenzerstreuung des Lichtes tritt seit 1870 eine eigenthümliche Erfahrung über Unregelmäßigkeiten der chromatischen Folge, welche als Dispersions-Anomalie bezeichnet wurde. Für sie sind wichtig H. Sellmeier's[6]) Untersuchungen der Licht-

[1]) An. d. Physik. 1879. VII. (243.) 655. — [2]) Phil. Magz. (4) 1854. IX. 36. — [3]) An. d. Physik. 1847. LXXI. (147.) — [4]) An. d. Physik 1882. XVII. (253.) 986. [5]) An. d. chim. et d. phys. (3.) 1850. XXX. 232. — [6]) An. d Physik. 1872. CXLV. (221.) 399. 520. CXLVII. (223.) 386. 525.

bewegung. Das Verhalten des Lichtes in wägbaren Stoffen spricht dafür, daß sowohl die Schwingungen des Aethers mit gleichzeitigen Vibrationen der Massentheilchen verknüpft sind, wobei letztere wohl in sehr viel kleineren Amplituden oscilliren, als daß der Gleichgewichtstand eines Körper-Moleküls neben dem Einfluß der anderen auch vom benachbarten Aether abhängt, also von Bewegungen desselben in wechselnder Weise alterirt wird. Die mathematische Bestimmung der Kraft, welche die ponderablen Theilchen zu bewegen strebt, geschieht mittels Veranlagung dreier senkrechter Achsen durch den Angriffspunkt. Die Bewegung desselben längs einer von jenen erfolgt unabhängig von, den anderen parallelen, Einflüssen, wie auch von den statischen oder dynamischen Zuständen anderer Körper- und Aether-Theilchen, sofern diese nur sehr kleinen Verschiebungen unterliegen. Bei der hohen Spannung des Aethers erfährt die Lage seiner Punkte kaum merkliche Einwirkung durch die Massenatome und weichen die Bestandtheile einer Lichtwelle wenig von einer Sinusoide ab, wie die Moleküle liegen mögen. Eine Verschiebung dieser ist der des Aether gleichgerichtet und proportional.

36. Entstehen und Verschwinden elementarer Schwingungsreihen von sehr kleiner constanter Amplitude erzeugt wesentliche wie unwesentliche Molekularschwingungen; erstere von gleicher Phase mit den erregenden Wellen, letztere von fast verschwindender Gesammt-Amplitude und nicht merklich hervorgebracht durch solche Lichtschwingungen, deren Dauer von den eigenthümlichen Vibrationszeiten eines Massentheilchen abweicht. Die durch die optische Vibration erweckte Molekularschwingung ist jener isochron. Ist die eigene Schwingungsdauer des Moleküles kleiner, als diejenige seines momentanen Gleichgewichtortes, so gehen beide in gleicher Richtung; in entgegengesetzter, wenn jene größer als diese. Die Körperschwingungen erscheinen gegen Diejenigen der Gleichgewichtsorte, wie gegen die Aethervibrationen um t / 4 verspätet. Solche in
$x = (\tau^2 / (\tau^2 - \delta^2))\, a_0 \sin 2\pi . (t/\tau) = (\tau^2 / (\tau^2 - \delta^2))\, x_0$
dargestellte erscheinen als Ursache der Lichtbrechung; die in $x = - a \cos 2\pi\, (t / \delta)$ und $d\,a / dt = \alpha_0 \times \pi / \delta$ gegebenen als Grund der Absorption, bei welcher die Schwingungs-Amplitude des Aether verkleinert wird. Schwingen die wägbaren Atome, wenn die Amplitude des erregenden Lichtes Null ward, so entsteht Fluorescenzlicht. — Vibration von Massentheilchen ist wohl bei der Lichterzeugung immer das Ursprüngliche. Die Aetherschwingungen werden dadurch nur sehr langsam

eingeleitet unter Betheiligung vieler Atome, deren jedes höchst wenig beiträgt, aber vermuthlich in äußerst verschiedener Stärke, Richtung und Form der Oscillation.

37. Die potentielle Energie eines im Gleichgewichts-Punkte O stabil ruhenden Moleküles ist $\int_0^a kmxdx = \frac{1}{2} k ma^2$, worin x einen kleinen Abstand von O, a eine geringe Strecke, über welche hin eine Kraft wirkt, $k = n^2 4 \pi^2 / \tau^2$ die, dieser entgegengesetzte, von der Aetherverschiebung im Körper ausgelöste, Kraft bedeutet. Die aktuelle Energie erreicht bei der ausgeführten Bewegung das maximum in O und durchschwingt anderseits a. Die Summe beider bleibt constant, indem weder etwas abgegeben, noch empfangen wird. — Die Schwingungsdauer einer Lichtwelle im freien Aether ist $\tau = \lambda / u$, in den Molekularinterstitien $\tau, = \lambda / nu$, wenn λ die Wellenlänge, u die Lichtgeschwindigkeit, n den Brechungsindex vorstellt. In einem Volum klein genug, daß die Phasen der darin schwingenden Aethertheilchen übereinstimmen, ist die potentielle Energie im Verschiebungsmaximum $2 \pi^2 n^2 m, a,^2 / \tau^2$; die aktuelle im Ruhepunkt $2 \pi^2 m, a,^2 / \tau^2$; demnach der Energieverlust des Aether an die Massentheilchen $2(n^2 - 1) \pi^2 m, a,^2 / \tau^2$, der Gesammt-Energie-Gewinn des Wägbaren $(2\pi^2/\tau^2) \Sigma m a_0^2 (\tau^2 / (\tau^2 - \delta^2))$. Als Gleichung der Brechungskraft, sofern die Gleichgewichtorte der Moleküle nur vom Aether abhängen, folgt daraus $n^2 - 1 = \Sigma m a_0^2 (\tau^2 / (\tau^2 - \delta^2)) / m, a,^2$.

38. Aus den für die optische Verbreitungs-Geschwindigkeit auffindbaren mathematischen Symbolen fällt potentielle Energie und lebendige Kraft der wägbaren Massen fort, während potentielle Energie des Aether und actuelle der Lichtwelle verbleiben. Demungeachtet hat die Energie der Moleküle zur Bewegung des Lichtes eine Beziehung, wenigstens in ihrer stehenden Form. Diese entstammt gleich der fortschreitenden der Aetherbewegung, deren Vibrations-Amplitude auf erstere bestimmend wirkt. Die Unterscheidung zwischen fortschreitender und stehender Energie erweist sich sehr fruchtbar für reflektive wie refraktive Betrachtungen.

39. Je nach Bevorzugung der einen oder der anderen Schwingungs-Achse der Moleküle überwiegt deren Einfluß auf Brechung oder Absorption. Beachtet man in erster Linie die absorptiven Theilchen mit der übereinstimmenden Schwingungsdauer δ_1, so ist die Curve der brechenden Kraft eine Hyperbel, welche die der Abscisse $1/\delta_1^2$ entsprechende Ordinate zur einen, die als Gerade gedachte Refraktionscurve der auf die Brechung

bezüglichen Theilchen zur anderen Asymptote hat. Außer der Haupt-Absorption findet eine selbständig nicht erkennbare Neben-Absorption statt, in einer von der Veränderlichkeit der Aetherbahnellipse abhängigen Entfernung, wodurch wenig mechanische Energie des Lichtes verloren geht, doch die brechende Kraft der absorptiven Theilchen etwas vermindert wird. In durchsichtigen Stoffen ohne bedeutende Absorption zwischen Roth und Violet wirken die Absorptions-Elemente schwach gegenüber den refraktiven. Die Maximal-Absorption kann liegen im Ultraviolet, Ultraroth, in beiden zugleich, oder zwischen ihnen. In letzterem Falle erscheint vor dem, im mittleren Spektralgebiet auftretenden, Streifen die Brechung vergrößert, dahinter verkleinert. Bei sehr starker Absorption kommt es zur anomalen Farbenzerstreuung.

40. In dieser, welche Christiansen im November 1870 zuerst am Fuchsin gesehen hat, während sie Sellmeier 1866 daran erwartet, aber vergeblich gesucht hatte, findet Letzterer eine Folge direkter Einwirkung der durch die Aetherschwingungen zur Mitvibration gebrachten Massentheilchen auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Enthält ein Körper Stofftheile, welche Licht bestimmter Schwingungsdauer absorbiren, so ändern diese Moleküle an Wellen anderer Schwingungsdauer den Brechungsindex, ihn vergrößernd, wenn die Schwingungsdauer größer, ihn verkleinernd, wenn sie kleiner ist, als die des absorbirten Lichtes. Dieser Einfluß steigt in wachsendem Verhältniß, wenn die Schwingungsdauern des gebrochenen und absorbirten Strahles sich einander nähern. Die Wirkung der absorbirenden Theilchen stört den einfachen Verlauf der Dispersionskurve, was zu chromatischer Abnormität führt, indem Wellen von kleinerer Länge also größerer Oscillations-Geschwindigkeit schwächer gebrochen werden, als breitere langsamere Schwingungen.

41. In seinen Betrachtungen über die Natur des Lichtes 1830 findet Airy unter Umständen zulässig, daß die Fortpflanzung der längsten Wellen am meisten von der modificirten Elasticität begünstigt werde. Vierzig Jahre später theilte Herr Christiansen in Kopenhagen an H. Poggendorff zu Berlin[1]) die oben erwähnte Beobachtung mit. Durch ein scharf zulaufendes Prisma einer 19 prozentigen Lösung von rothem Anilin in Weingeist wird die vom gewöhnlichen Spektrum abweichende

[1]) An. d. Physik. 1870. CXLI. (217.) 479.

Farbenordnung gesehen: Violet (Minimalbrechungsindex 1.285), Roth, Gelb (stärkste Ablenkung 1.561). Das Refraktionsverhältniß wächst bis wenig über D hinaus, fällt dann sehr rasch bis G, und steigt erst von da wieder. Bald darnach verallgemeinerte Herr A. Kundt[1]) die merkwürdige Erscheinung, welche er unter verschiedenen Gesichtspunkten schon früher berührt hatte. Er war zur Überzeugung gelangt, daß an Körpern mit ausgeprägter Oberflächenfarbe nach den Wellenlängen eine verschiedentliche Ab- und Zunahme des Brechungsexponenten eintrete, und zwar unter Voraussetzung elliptischer Lichtpolarisation von solch ungewöhnlicher Anordnung, daß die innere Dispersion anomalen Charakter annimmt und die Spektralfarben in veränderter Ordnung auftreten. Viele Stoffe, welche im festen Zustand deutliche Oberflächenfarbe, oft dichroitisch, zeigen, brechen Roth stärker als Blau, und Grün meistens am schwächsten. Vielleicht erscheint die anomale Dispersion als molekulare Folge der Verflüssigung von Elementartheilchen, welche krystallinisch kräftige, mit der Strahlenincidenz wechselnde Farbenreflexion zeigen. Fast immer sind auch starke Absorptions-Erscheinungen betheiligt. Mit Annäherung gegen die dadurch hervorgebrachten dunklen Streifen von Seite der größeren Wellenlänge her nimmt die Brechung schnell zu; dagegen ebenso rasch ab, wenn die entgegengesetzte Seite betrachtet wird.

42. Bei solcher Auffassung der Frage, verbunden mit deren empirischem Studium, mußte die Anzahl anomal dispergirender Stoffe bald vermehrt werden; von besonderem Interesse erschien die Herbeiziehung der Gase; thatsächlich, wenn auch bis dahin ganz isolirt stehend und jetzt erst in's richtige Licht gerückt, war dies 1862 durch die dispersiv-abnorme Beobachtung von le Roux[2]) am Joddampfe geschehen. Herr O. E. Mayer hatte 1863 daran eine Bemerkung geknüpft, welche später[3]) erweitert ward. Die mit starker optischer Absorption und, von der Stofffarbe oft abweichender, Oberflächenfärbung meist verbundene hochgradige Undurchsichtigkeit könnte aus dem Widerstande fließen, den die Aetherschwingungen im Durchgangsmedium finden. Liegt dessen Ursache im wägbaren Stoff, so dürfen die Moleküle als unbewegt gelten, und ist die, der äußeren Flüssigkeitsreibung analoge, Kraft zur absoluten Geschwindigkeit der Aethervibrationen proportional; liegt sie in den umliegenden

[1]) An. d. Physik. 1871. CXLII. (218.) p.: 163—171. — [2]) Comptes rendus. LV. 126. — [3]) An. d. Physik. 1872. CXLV. (221.) S.: 80.

Aether-Partikeln, so steht sie als innere Reibung mit der relativen Schwingungsschnelligkeit im Verhältniß. Die Differentialgleichung der ebenen Wellen $d^2 v/dt^2 = u^2 d^2 v/dx^2$ wäre im ersten Fall zu vervollständigen durch $- kdv/dt$, im zweiten durch $\nu d^3 v/dtdx^2$, wobei „ν" der „Reibungsindex" nach Stokes[1]) ist. Beide Hypothesen führen zu Schlußgleichungen, welche, der Anomaldispersion entsprechend, ein mit wachsender Wellenlänge vermehrtes Brechungsverhältniß fordern; freilich aber auch eine, empirisch nicht allgemein bestätigte, stärkere Absorption kürzerer Wellen. Dies war indeß, wenigstens damals, um so weniger anstößig, als eine Autorität auf diesem Felde, wie H. Kundt, die Ergebnisse auf demselben noch nicht entscheidend genug hielt, um die Beziehungen zwischen Brechung und Absorption allgemein festzustellen.

43. Schwach absorbirte Strahlen geben in schrägen Spektren scharfe Bilder, stark absorbirte verwaschene, „als ob vielleicht diese in den ersten Schichten des Mittels eigenthümlich zerstreut würden, so daß ihnen gewissermaßen kein bestimmter Brechungsexponent zukommt". In diesem Ausspruch findet H. Sellmeier „eine der merkwürdigsten Bestätigungen" seiner Theorie.

44. Herr von Helmholtz[2]) führt eine der Bewegung wägbarer Massentheilchen entgegenwirkende Reibungskraft in der Form ein, welche bei der Akustik und am Pendel sich bewährte. Die Atome sollen dicht genug liegen, daß alle Punkte des Intermolekularäthers gleichmäßig beeinflußt werden, und die Abstände jener gegen die Wellenlängen dieses so gut wie verschwinden. Bei bloßer Wirksamkeit der Aetherelasticität mit der Constanten α^2 ist die Bewegungsgleichung ebener Wellen $\mu d^2 x_{,}/dt^2 = \alpha^2 d^2 x_{,}/dx^2$ (worin μ die Dichte, $x_{,}$ die Verschiebung einer Aetherschicht von der Coordinate y in der Zeit t, x die entsprechende Dislocirung der Atome). Der Krafteinfluß der wägbaren Masse auf den Aether ist proportional der relativen Lagenänderung des Aethers gegen das schwere System, ausgedrückt in dem zur zweiten Seite obiger Gleichung tretenden Summanden $\beta^2 (x - x_{,})$. Der Einfluß des Aethers auf die wägbaren Atome ist $\beta^2 (x_{,} - x)$; die Kraft, welche die als ruhend geltenden Moleküle auf die bewegten üben, $- a^2 x$; die bei stattfindender Absorption geschehene Umsetzung der lebendigen

---

[1]) Phil. Transactions, Cambridge. IX. (2) p.: 17. — [2]) Mon.-Ber. d. Berliner Akad. d. W. Oktober, 1874. — An. d. Physik. 1875. CLIV. (230.) S.: 582—596.

Schwingungskraft in Wärme $- \gamma^2 dx / dt$. Daraus erwächst für Aether (I.) und Masse (II.) die Doppelgleichung

$$\mu d^2 x_, / dt^2 = \alpha^2 d^2 x_, / dx^2 + \beta^2 (x - x_,) \quad \text{(I.)}$$

$$m d^2 x / dt^2 = \beta^2 (x_, - x) - a^2 x - \gamma^2 dx / dt. - \quad \text{(II.)}$$

Die Darstellung eines particulären Integrales und der Gang der Funktion bei schwacher wie starker Absorption muß im Originale studirt werden.

45. Bei gleichbleibender Lage der Maximal-Absorption im Spektrum hängt das Verhältniß der größten Werthe ihres Coëfficienten zur Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes ab von der, Massentheilchen und Aether verbindenden, Kraft in gerader, von der Reibung in verkehrter Proportion. Kleine Werthe der mitschwingenden Massen und große der Reibung geben breite, die entgegengesetzten Umstände schmale Absorbenzstreifen.

46. Herr Ketteler in Bonn[1]) hatte schon 1865[2]) die Hoffnung ausgesprochen, daß die in seiner Theorie berücksichtigte Unstetigkeit der Dispersionskurve experimental bestätigt werden möge. Der Ausdruck der anomalen Dispersion hängt von der Form ab, welche der Funktion zwischen Brechungsindex und Schwingungsdauer gegeben wird. Stehen die darin enthaltenen Constanten bloß in algebraischem Zusammenhang, so erscheint die Dispersionsformel unter der Gestalt $1 / n^2 = A / (1 - k l^2) + B / (l^2 - C_{,,})$. Für besondere Fälle werden die Voraussetzungen gemacht, daß $B = o$, $C_{,,} = o$ oder $C_{,,} = o$, $k = o$ sei, auch allein $C_{,,} = o$ mit Einführung einer dritten Constanten. — Man kann die für gewöhnlich durchsichtige Stoffe giltige Gleichung auf Curven ausdehnen, welche beliebig viele Unstetigkeiten oder imaginäre Zonen besitzen. Der Ausdruck $1 / n^2 = \Sigma M \, (l^2 - N)$ bestimmt die Begrenzung der Spektren, auch beeinflußt durch die Unverträglichkeit gewisser Schwingungsdauern mit der Vertheilung der Kräfte und Massen im Innern der Molekulararchitektonik. Wird die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit bei einer Wellenlänge imaginär, so können benachbarte Schwingungen gedämpft werden. Damit hängt Lamanski's Angabe zusammen, daß ultrarothe Strahlen beim Schneiden durchsichtiger Körper desto größeren Verlust erleiden, je geringer ihre Brechbarkeit ist.

47. Ferner gehören hieher: Die Beziehung zwischen Ab-

---

[1]) An. d Physik. 1874. Jubelband. 166—182. — [2]) Beobachtungen über die Farbenzerstreuung der Gase. Bonn.

sorption und Dispersion, wie die Curve der letzteren in Mitteln mit mehreren Absorbenzstreifen (1877), elliptische Längsschwingungen im incompressiblen Aether (1878), die Vibrationsmechanik sowohl in isotropen als anisotropen Medien (1879). Aether und Massentheilchen werden als zusammenschwingend betrachtet, letztere aber als Bewegungswiderstände der ersteren, welche nur im leeren Raume zur vollen Geltung kommen. Der für incompressibel geltende Aether wird durch mechanische Einwirkung bloß deformirt. Die Arbeit der Aetherschwingungen steht mit dieser Deformation in quantitativ vergleichbarem Zusammenhang.

48. In einer 1880 [1]) erschienenen Abhandlung wird in Berücksichtigung der, die Dispersionstheorie wesentlich modificirenden, anomalen Farbenzerstreuung die Doppelgleichung

$$a^2 - b^2 - 1 = \Sigma \left((D\lambda^2_m (\lambda^2 - \lambda^2_m)) / ((\lambda^2 - \lambda^2_m)^2 + g^2\lambda^2) \right)$$
$$2\,ab = \Sigma \left((D\lambda^2_m g\lambda) / ((\lambda^2 - \lambda^2_m)^2 + g^2\lambda^2) \right)$$

aufgestellt, und der in Cauchys Formel erscheinende „von der Dispersion befreite Brechungsindex" statt auf die Verschiedenheit des freien und intermolekularen Aethers auf Absorption bezogen. Daß dieser, oder allgemeiner der optischen Mitwirkung wägbarer Moleküle in der neueren Lichtlehre größere Bedeutung zugestanden wird, ist ein unverkennbarer Fortschritt gegen die ausschließliche Theorie des incompressiblen Weltäthers. Die Umwandlung der Schwingungsarbeit des Intermolekular-Aethers wie derjenigen der unter den Körpertheilchen wirksamen atomistischen Kräfte, und den damit zusammenhängenden Übergang des Lichtes zwischen zwei Mitteln betrachtet H. Ketteler als Grundlage einer rationellen Lehre der Farbenzerstreuung. Der in ihr wirksamen Rolle der Absorption wird in den letzten Doppelformeln Rechnung getragen, durch den Extinktions-Coëfficienten $b = k\lambda / 2\pi$ (photometrisch gemessene Absorption); a bedeutet den Brechungswerth, λ die betrachtete Wellenlänge, λ_m diejenige am dunklen Streifen D die Dispersions-Constante als Maß der Wechselwirkung zwischen Aether und Masse, g die Reibungs-Constante der letzteren, während das Summenzeichen den Sinn hat, daß beliebig viele, vom Aether in Mitschwingung versetzte, heterogene Molekulargruppen betheiligt sein können.

49. Im Anschluß an H. Kettelers bis dahin vorgeschrittene Theorie, welche er nach eigenem Ausdruck mit den Untersuchungen

[1]) An. d. Physik. XI. 210.

der Lichtbewegung in circular und elliptisch polarisirenden Mitteln, „vorläufig als abgeschlossen" ansieht, steht Herrn O. Hesse's Inauguraldissertation[1]) über das Dispersions-Gesetz. Nach geschichtlicher Einleitung werden die Extinktions-Coëfficienten organischer Farbstofflösungen bestimmt mittels Vierordts spektroskopischer Doppelspalte, Meyerstein's Spektrometers, und des Drummond'schen Knallgaskalklichtes. In dessen nicht ganz beseitigbarer Ungleichmäßigkeit, dem Verdunstungsverlust, der leichten Verschiebbarkeit der Skala, vornehmlich aber in persönlichen Eigenthümlichkeiten des Auges liegen große Schwierigkeiten. Im Allgemeinen erwies sich die physiologische Distinktionsfähigkeit für roth und blau sehr viel feiner, als im mittleren Spektralbezirk. Neben dem Einfluß der Spaltbreite erscheint die Concentration bedeutungsvoll. Ihr sind die Extinktions-Coëfficienten nahe proportional. Die Absorptionskurve, von letzteren als Ordinaten und den Wellenlängen als Abscissen bestimmt, verläuft stetig, vom maximum bei $\lambda = \lambda_m$ beiderseits zur Abscissenachse asympotisch abfallend — wenigstens für die, bis dahin allein geprüften, mittleren Concentrationsgrade.

50. Der inneren Verwandtschaft wegen sei hier eine gleichfalls dem Einfluß der Concentration zugewandte Untersuchung von H. G. Sieben angereiht. Derselbe hatte in einer Dissertation (1879)[2]) die Brechungswerthe anomal dispergirender Stoffe mit H. Ketteler's vereinfachter Formel $n^2 - n_\infty^2 = \Sigma (D'L^2n^2 / (\lambda^2 - n^2L^2))$ verglichen und Übereinstimmung gefunden bei weit vom Absorptionsgebiet abstehenden Linien, während in dessen Nähe die Streifen stark verbreitert erscheinen. Die Constanten variiren proportional der Concentration.

51. Ferner erforschte er die Abhängigkeit der Brechungs-Exponenten anomal dispergirender Mittel, besonders des Cyanin und Fuchsin, von Concentration der Lösung und Temperatur, deren Steigerung die Aufnahme des Farbstoffes im Alkohol befördert. Sowohl nach der Methode prismatischer Minimalablenkung, als totaler Reflexion fand man die Anomalie der Farbenzerstreuung steigend mit zunehmender Concentration. Dies ergab zunächst die weingeistige Lösung des Cyanin, doch auch die in Chloroform, welche stärker

[1]) An. d. Physik. 1880. XI. (247.) 871. — [2]) An. d. Physik. 1879. VIII. (244.) 137.

zerstreute. Bei Alkoholfuchsin wachsen ebenfalls Brechung, Absorption und Dispersions-Anomalie mit Erhöhung der Concentration.

52. Bestritten wird H. Kettelers optische Theorie durch Herrn Voigt[1]) in einer Weise, welche Grundfragen über die Constitution der Materie nicht unberührt läßt. Die Annahme einer Kraft, welche, dem Ruhepunktabstand proportional, auf diesen die aus dem Gleichgewicht gebrachten Moleküle zurückführt, neben einer zur absoluten Geschwindigkeit in verkehrtem Verhältniß stehenden Reibung widerspreche den Grundanschauungen der Elasticität. In den auf sie bezüglichen Gleichungen sei nicht gestattet, wie in der Hydrodynamik eine Wechselwirkung zwischen Elementen verschiedenen Aggregatzustandes zu statuiren, ohne den Druck dieser gegen jene zu annulliren. Deshalb wird die Herleitung der dioptrischen Verwandlungs-Gesetze für untriftig, aber auch ihre Aufstellung als Prinzipien als unhaltbar erachtet.

53. Herr Ketteler[2]) macht dagegen geltend, daß die optischen Erscheinungen, zumal der Dispersion, mit der Elasticitätslehre fester Körper nichts zu thun habe. H. Voigt's Bewegungsgleichungen seien nur richtig, wenn zwei gleichartige oder ungleichartige Massen unter dem Einfluß beliebiger Kräfte zusammenstoßen, nicht aber, sofern sie auf das dauernde Zusammenschwingen eines aus Aether und Körpermasse gemengten Mittels bezogen werden.

54. Wichtiger als das, unser Thema bloß mittelbar berührende, Detail der Polemik scheint eine angereihte selbständige Abhandlung H. Kettelers zur Dispersion des Lichtes. Der freie wie der intramolekulare Aether, bestehend aus Atomen mit, von den Entfernungen abhängigen, Kräften sind von constanter Dichte wie Elasticität. Ruhend sind Aether- und Körper-Theilchen aufeinander wirkungslos. Letztere gelten als schwingungsfähige Gebilde, durch Reibung im relativen Gleichgewicht innerhalb des Moleküles erhalten. Die Amplituden der Körperschwingungen ändern die den Aggregatzuständen entkeimenden Beziehungen benachbarter Moleküle nicht, so daß die Aetherbewegungen unendlich leicht durchgehen. Bezüglich der Anordnung ist ein Unterschied zwischen isotropen und anisotropen Medien; während dort die Massentheilchen in gleichen Abständen gelagert sind, wechseln hier ihre Entfernungen nach den Hauptrichtungen ab.

---

[1]) Neues Jahrbuch für Mineralogie. 1883. I. 22. — [2]) An. d. Physik. 1884. XXI. (257.) 178—208.

55. In Fortsetzung oben erwähnter Polemik, soweit sie hieher gehört, betont H. Voigt[1]) die allgemeine Giltigkeit der Elasticitättheorie für Stoffe jeglichen Aggregatzustandes, dessen Unterschied bloß besondere Constante bedinge. Dabei wird die atomistische Structur der Materie zu Grunde gelegt, nach welcher alle Körper aus kleinsten Theilchen bestehen, nicht continuirlich mit einander verbunden, sondern durch ihre Wechselwirkung im Gleichgewicht gehalten. Unstatthaft sei die Annahme H. Kettelers, daß in den bewegten Molekülen ruhende Massen vorlägen, denen Reibung proportional zur absoluten Geschwindigkeit, und, mit der Verschiebung in Verhältniß stehende, Anziehung zukomme. Auch dürften die Wechselwirkungen ätherischer und ponderabler Massen derselben Volumeneinheit nicht gleich gesetzt werden den Einflüssen der, letztere umlagernden, gleichartigen Elemente. Ob bei jenen gegenseitigen Beziehungen Energie verloren gehe, hänge vom Verhältniß ab zwischen der von Außen zugeführten Arbeit und dem Zuwachs der in Aetherbewegung und Potential der Innenkräfte enthaltenen Energie. Die mathematischen Ausdrücke, für die auf den Aether in wägbarer Masse thätigen Kräfte, welche bei den Vibrationen jenes Energie vernichten, sind Linearfunktionen erster Differentialquotienten zeitlicher Verschiebungen. Bei Absorptions-Vorgängen könnten die Bewegungen ponderabler Moleküle unendlich klein sein. In unendlich dünnen Grenzelementen verschwindet der mit einer Absorption verbundene Energieverlust.

56. Die „Duplik"[2]) Herrn Kettelers unterscheidet an den schwingungsfähigen Atomgebilden ruhende und bewegte Punkte. Zwischen Aether und wägbarer Masse bestehe keine wesentliche, sondern nur graduelle Verschiedenheit. Von je drei Continuitätsgleichungen für deren Beziehungen werden die letzteren verworfen, weil sie beim Lichtübergang vom freien Aether aus ein Mitschwingen der Körpertheilchen unmöglich machen.

57. H. Voigts darauf bezügliche Äußerung, daß dann die Verrückungs-Componenten der letzteren unbestimmt würden, ward von diesem selbst dahin präcisirt, daß dies bloß geschehe, wenn der Körper, auf den sie sich beziehen, verschwindet. Übrigens sei es willkürlich, Grenzgleichungen, welche bloß bei isotropen Stoffen zutreffen, ohne Weiteres auf anisotrope zu übertragen.

58. In die vorstehende Polemik, deren zeitlicher wie wissen-

[1]) An. d. Physik. 1884. XXI. (257.) 534—540. XXIII. (259.) 104 bis 147. 159. — [2]) An. d. Physik. 1884. XXII. (258.) 217—226.

schaftlicher Ausgang kaum abzusehen war, wenn nicht die Redaktion von Wiedemann's (Poggendorff's) physikalischen Annalen den Abschluß[1]) in ihren Blättern verordnet hätte, ist bis auf einen gewissen Grad auch Herr Lommel in Erlangen verwickelt. Dieser ausgezeichnete Forscher veröffentlichte schon 1878[2]) optische Untersuchungen, welche davon ausgehen, daß die Körpertheilchen durch periodische Impulse, welche sie von der im umgebenden Mittel fortgepflanzten Welle empfangen, in Bewegung gesetzt werden. Wellenlänge, Masse der wägbaren Atome wie des Aethers, und die Constanten $\varkappa = k\,\lambda/\pi v$, $\varepsilon = (k-\nu)\,\lambda/\pi v$ werden in drei Formeln verbunden, welche für Körper gleichartiger Struktur mit einem Absorptionsstreifen die gewöhnliche, wie anomale Farbenzerstreuung darstellen. Die den Gleichungen entsprechende Kurve zerfällt in drei Stücke, deren anfängliches vom ersten **minimum** bis zum ersten **maximum** steigt, das mittlere von diesem an's zweite **minimum** fällt, das letzte von da zum zweiten **maximum** emporklimmt, und hinter demselben auf's Einheits-Niveau sinkt. Liegt das **maximum** der Molekular-Absorption im sichtbaren Spektrum, so wächst der Brechungsindex mit der Schwingungszahl zu einem relativ höchsten Werth, fällt innerhalb des Absorptionsgebietes rasch zum **minimum**, und steigt dann anfangs schnell, später langsam wieder an; er ist hinter dem Absorptionsstreifen kleiner als 1, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen also daselbst größer, als im leeren Raume oder in Luft; die aus letzterer kommenden Strahlen erleiden hiemit leicht totale Reflexion, kräftige Oberflächenfarbe erzeugend, und erregen im Innern anomale Dispersion. Wird, wie meist, der Aether von verschiedenartigen Stofftheilchen beeinflußt, so sind zwei Gleichungen nöthig, deren eine die Summe zweier Impulse enthält, worin die Hauptelemente den Gewichtverhältnissen der Bestandtheile oder der Concentration proportional sind. Nur wenn letztere sehr stark ist, geht der Brechungsindex unter die Einheit, weshalb die betreffenden Lösungen selten Oberflächenfarbe zeigen, wohl aber stets dann anomale Dispersion, wenn der gelöste Stoff im sichtbaren Spektrum einen direkt entstandenen dunklen Streifen gibt. Am mathematischen Ausdruck für die Lichtstärke im fraglichen Spek-

[1]) An. d. Physik. 1884. XXIII. (259.) S. 160. — [2]) An. d. Physik. 1878. III. (239.) S. 339—356.

tralbezirk repräsentirt $1-\sin^2\alpha\,(k^2-\varepsilon^2)/k^2$ die molekulare, e^{-Ky} die Schichten-Absorption.

An H. Kettelers „Verwandlungs-Gesetzen der Schwingungs-Arbeiten" beanstandet H. Lommel, daß sie nicht aus mechanischen Prinzipien hergeleitet, sondern als Postulate formulirt seien. Die Differentialgleichungen enthielten eine, erst im Integral zulässige, Willkürconstante.

59. Später[1]) gibt H. Lommel folgende optisch-molekulare Grund-Anschauungen. Die im Volumen-Element enthaltene Körper- und Aether-Masse wird durch die von einer Lichtquelle kommende Bewegung auseinandergedrängt nach entgegengesetzten Seiten ihrer gemeinsamen Gleichgewichtlage. Die eigentliche Fortpflanzung der Lichtwellen geschieht nur durch den Aether. Die hiebei erregten Schwingungen der Körper-Atome sind intramolekular, so daß dieselben vibriren um feste Gleichgewichtlagen innerhalb des Moleküles, das als atomistische Gruppe in keiner Weise betheiligt ist. Die Kraft, welche ein aus dem Ruhepunkt verschobenes Atom dahin zurückführt, ist der Verschiebung proportional; erscheint aber an der Lichtfortpflanzung kaum betheiligt. Hinsichtlich dieser bildet jedes Molekül eine Welt für sich, in deren intramolekulare Atombewegungen die Nachbar-Moleküle nicht eingreifen. Charakteristisch ist für diese Theorie die Form der Wechselwirkung von Aether-Atomen und Körper-Molekülen als eine Art von Reibung, und die Aufstellung bestimmter Gleichgewichtlagen der Massentheilchen.

60. Sieht in ihr H. Ketteler einen mathematischen Widerspruch, so möchte dies darin begründet, doch hiemit auch widerlegbar sein, daß eine fremde „näherungsweise der Dichte parallellaufende" Constante eingeführt wird. — Herr Voigt[2]) bringt dagegen, soweit Molekularverhältnisse berührt werden, vor, daß die ausschließliche Lichtfortpflanzung im Aether nicht ohne Weiteres klar sei. Aus Differentialgleichungen für die Leitung der Welle in einem aus Aether und Massentheilchen gemischten Mittel folgert er, daß in gleichbleibendem Medium das Verhältniß der lebendigen Kräfte von Materie und Aether bei den Lichtschwingungen das Reciproke sei von dem bei der Schallbewegung stattfindenden. Bei letzterer, welche erfahrungsmäßig nur in wägbaren Massen fortgepflanzt

---

[1]) An. d. Physik. 1883. XIX. (255.) 908—914. — [2]) An. d. Physik. 1883. XX. (256.) 444—452.

wird, verschwindet gegen die lebendige Kraft dieser diejenige des Aethers, während es beim Lichte wohl umgekehrt ist. Bei dessen Bewegung erscheint die Annahme ruhender wägbarer Moleküle weder nothwendig, noch physikalisch erweisbar. Zudem ist schwer begreiflich, wie die Moleküle schwingende Atome enthalten sollen, ohne daß der gemeinsame Schwerpunkt gestört wird. Die wahren Kraft-Centra liegen in den bewegten Atomen, von denen die, den Aether verdichtende, Wirkung ausgeht.

61. Am 7. Juni 1882 übergab M. C. E. de Klercker der schwedischen Akademie der Wissenschaften: „**Recherches sur la Dispersion prismatique de la lumière.**"[1]). Als Motto trägt die Abhandlung Verdets[2]) Äußerung, daß man für das Verständniß der Farbenzerstreuung zur Annahme gezwungen sei, die Molekulardistanzen dürften gegen die Wellenlängen nicht vernachlässigt werden. Neben anderen historischen Bemerkungen wird von Cauchys Formel $\omega = A + B/l^2 + C/l^4$, welche zwar für homogene, doch nicht heterogene Mittel passe, gesagt, daß sie Constante enthält, deren Beziehungen zu den Molekular-Eigenthümlichkeiten unbekannt seien. Dasselbe gelte für M. Mascart's empirische Aufstellung[3]). H. v. Klercker hatte schon drei Jahre früher[4]) einschlägige Untersuchungen veröffentlicht. Zum Studium des Anomal-spectrums wurden zwei gleiche entgegengesetzt gestellte Hohlprismen mit Alkohol gefüllt. Ein durchgehender Lichtstrahl wurde natürlich nicht abgelenkt. Als einerseits Fuchsin zugebracht war, erschien ein Doppelbild, das eine in normaler Farbenfolge (roth, orange, gelb) seitwärts verschoben; das andere (blau, violet) unverrückt. Daraus wird geschlossen, die Moleküle des Fuchsin verzögerten die Leitung der kurzen Wellen ohne die langen merkbar zu beeinflussen: letztere würden aber bei steigender Concentration absorbirt. Vielleicht ist der absorbirende Einfluß wägbarer Massen auf Aetherschwingungen mit einer trägeren Fortpflanzungsgeschwindigkeit der letzteren im intermolekularen Aether verbunden. (?)[5])

62. Der Brechungs-Act gilt meist als vollendet, wenn die neue Elementarwelle ihren Erzeugungspunkt verläßt; hier

[1]) Bihang till k. Svenska Vet. Akad. Handlingar. VII. 1. Stockholm, 1882. — [2]) Leçons d'Optique physique. I. 88. (Ins Deutsche übers. v. K. Exner, 1881.) — [3]) An. de l'Ecole normale. I. 263. — [4]) Comptes rendus. Paris, 1879. LXXXIX. 734. (Bihang etc. V. 20.) — [5]) Vergl. Herrn C. Christiansens „Pulverrefraktion." (Brewster Phil. transact. p.: 283. 1819.) An. d. Physik. 1885. XXIV. (260.) 439—446.

wird die ablenkende Thätigkeit des Mittels auf ein Flächenelement der einfallenden Welle erst als vollbracht angesehen, sobald die neue Wellenfläche von ihrem Ursprung um die Länge der letzten Welle innerhalb der limitrophen Fläche absteht. Dabei gelten Intermolekularabstände und Lichtwellenlängen als vergleichbare Größen, und sowohl die optischen Bestimmungen der letzteren, wie die auf die Molekularbewegungen bezüglichen Ergebnisse der kinematischen Gastheorie maßgebend. **Maxima** und **minima** in erster Hinsicht sind 0.00076, 0.0003^{mm}; die mittlere Dicke eines von der Aetherhülle umgebenen Moleküles[1]) ist 0.0000005^{mm}; beim Elementaract der Brechung sind höchstens 0.00076/0.0000005 = 1500 Aetherhüllen betheiligt. — (Sir W. Thomson[2]) hält aus vier Gründen die Atome keineswegs für außerordentlich, oder gar unendlich klein. Jene sind entnommen der optischen Wellenlehre, der Berührungs-Elektricität, der Capillar-Anziehung, der Gaskinetik; aus der zweiten Erscheinung leitet er her, daß der fragliche Werth (für Cu u. Zk) nicht kleiner als 1/100000000^{mm} sein kann, wahrscheinlich aber viel größer bis höchstens 1/500000^{mm} ist.)[3]).

63. Zur Farbenzerstreuung sind entscheidend die kleinsten Geschwindigkeits-Unterschiede, resultirend aus den Differenzen der Wellenlängen, welche innerhalb einer Molekulardistanz fallen. Die Principallängen der Wellen, deren Differenz nur eine Molekulardistanz beträgt, constituiren die reguläre Dispersion. Nebenlaufende irreguläre Dispersionen sind zu klein, als daß sie die Farbenfolge störten, können aber an den Spektrallinien durch Vergleich des Brechungs- und Beugungs-Spektrums beobachtet werden. Als Formel der regulären Refraktiv-Dispersion wird aufgestellt $\omega = (1 + A)\,L\,/\,(L - B)$, worin der Refraktions-Coëfficient

$$A = (r \sqrt[3]{sa/m} - 1)\,/\,(1 - v \sqrt[3]{s^2 a^2 / m^2}),$$

der Dispersions-Coëfficient

$$B = (r\,(1 - vsa/m))\,/\,(1 - v \sqrt[3]{s^2 a^2 / m^2});$$

jener bedeutet den Verzug, welchen ein Wellen-Element erfährt,

---

[1]) O. E. Meyer; Kinetische Theorie der Gase. Breslau, 1877. S. 226. — [2]) Royal Inst. of Great Britain, 1883. (Vortrag.) — Reinhold und Rücher (Proceedings of the Roy. Soc. 1883. Nr. 225) geben nach optischer Methode die Mitteldicke der dunklen Lamelle von Plateau's „liquide glycerique“ = 0. 107/10^5. — Exner, Repertor. d. Physik. 1885. XXI. S. 182 und 217. — [3]) In d. Sitzg. d. chem.-physikal. Gs. zu Wien am 10. März 1885 sprach Herr F. Exner über eine neue Methode zur Bestimmung der Größe der Moleküle.

während es die Einheitlänge vermindert um die einfache Schicht des comprimirten Aethers durchlief; dieser bleibt im nämlichen Mittel von gleicher Dichte constant und unabhängig von der Lichtwellenlänge. s bezeichnet das specifische Gewicht des Mittels, bezogen auf Wasserstoff, 0^0 und 760^{mm}, m das Molekulargewicht, a die Anzahl der Aetherhüllen des Wasserstoffs im Einheitsraum, also sa/m diejenige in der Volumeinheit jenes Mediums, $\sqrt[3]{sa/m}$ die auf der Längen-Einheit von der Grenzfläche an gezählte Menge derselben, v. $\sqrt[3]{sa/m}^{\,2}$ das Volum einer einfachen, nv. $\sqrt[3]{sa/m}^{\,2}$ das einer combinirten Schicht, n die Anzahl der einfachen Aetherlagen, t die Schwingungszeit der Vibrationen im einfachen, D im verdichteten Aether, $T = nD + (n-1)t$ diejenige der Lichtquelle. — Der regelmäßige Dispersionsvorgang folgt dem Gesetz, wonach längere Wellen weniger gebrochen werden, als kurze. Der irreguläre Act veranlaßt innerhalb sehr kleiner Spektraldistanzen anomale Übereinanderlagerungen von Wellen ungleicher Länge, besonders dicht gedrängt in Nähe des Ultraroth; hier sind deshalb die Farben des Beugungsspectrums reiner.

64. Auf diese Darlegung, welche wenig bekannt geworden zu sein scheint, folgte ein zweites Memoire[1]), der Akademie vorgelegt am 9. Mai 1883. In jedem isotropen Mittel, das eine Lichtwelle leitet, ist der verzögernde Einfluß der Aetherhüllen wie der wägbaren Moleküle durchschnittlich der nämliche, wie wenn Ponderables und Aetherisches vereinigt wäre zu gleichmäßig vertheilten Schichten, parallel unter sich wie zur Wellenfläche. Dicke und Abstand der Aetherlagen von mittlerer Hüllendichte, getrennt durch einfache Schichten wägbarer Atome, wechseln mit den physischen Eigenschaften der Stoffe. Unter der willkürlichen Annahme, daß die Geschwindigkeit des Lichtes im comprimirten Aether **„avec la couche matérielle qui se trouve à son milieu"** ein Viertel derjenigen im freien Aether sei, und der Feststellung des Abstandes zweier benachbarter Wellenflächen $= 0.0002504^{mm}$, desjenigen zwischen der ersten solchen und der limitrophen Grenze $= 0.0001172^{mm}$ wird die Dicke einer Wellenschicht gefunden $= 0.00003^{mm}$. — Graphische Darstellung wie mathematisches Detail würden hier zuviel Raum beanspruchen. — Den beiden Gleichungen
$\omega = (1 + A) L / (L + sA) = (1 + A) L / (L - (d - s) A)$ ent-

[1]) Bihang till. K. Svenska Vet. Akad. Handlingar. VIII. 10. Stockholm, 1884.

sprechen Kurven, deren zweite das gewöhnliche Dispersionsgesetz repräsentirt. Als vollständige Dispersionsformel eines isotropen Mittels gilt
$\omega = ((1 + A) / 2) \times ((2 L^2 - L B) / (L^2 - L B - C))$ worin die Coëfficienten A, B, C constant sind für jede Art des Lichtes, solang der physische Zustand des brechenden Stoffes wie seiner durchsichtigen Umgebung unverändert bleibt. — Aus
$b = \sqrt[3]{sa/m} = 4000$ (für Wasser, wo auf H bezogen $s = 11145$, $m = 9$) wird hergeleitet $a = 52.10^6$, während die Kinematik fordert 21.10^{15}. Wird Angesichts dieses großen Unterschiedes angenommen, daß ein Molekül fester oder flüssiger Materie weit träger sei, als das Gasmolekül, welches in der Verdampfung bei verhältnißmäßig einfacher Gruppirung durch ungeheuere Steigerung der Atombewegung entsteht, so wäre die Aktivitätsphäre der Molekularkräfte bei Flüssigkeiten größer als in Gasen. Plateau[1]) und Quincke[2]) fanden an jenen die Capillarität wirksam auf 0.00005^{mm}; Meyer[3]) bestimmt für diese den Rayon der Wirksamkeit $= 0.0000003^{mm}$. — Das Charakteristische dieser eigenthümlichen Dispersionstheorie, welche alle Lichtwellen im freien wie comprimirten Aether mit unveränderlich gleicher Geschwindigkeit fortgehen läßt, liegt in der Hypothese verdichteter Aetherhüllen um den Massentheilchen mit idealer Vereinigung der Volumina aller dieser Atmosphären zu einfachen Schichten mittlerer Dichte parallel der Wellenoberfläche.

V. Eigenschwingungen der Atome.

65. In allen Darstellungen des letzten Abschnittes leuchtet das gemeinsame Bedürfniß hervor, die Optik ihres ausschließlich ätherischen Charakters zu entkleiden, und der Materie Einfluß auf ihre Erscheinungen zu gestatten. Grad und Art desselben sind verschieden. Sellmeier erklärt mittels, der Cauchy'schen Reihe ähnlicher, Analyse die einschlägigen Phänomene aus ungleichen Schwingungsdauern der Aether- und Massen-Elemente. v. Helmholtz statuirt einen Reibungsvorgang, welcher die mechanische Kraft der Vibra-

[1]) Mémoire de Bruxelles. 1847. XVI. 35. — 1861. XXXIII. 44. — [2]) An. d. Physik. 1869. CXXXVII. (213.) 402. — [3]) Kinetische Theorie der Gase. Breslau, 1877. S. 233.

tionen beeinträchtigt. Lommel macht das Brechungsverhältniß mit seinen näheren wie ferneren Consequenzen abhängig von der Wellenlänge und ihren Abständen vom Absorptionsstreifen. Ketteler betrachtet den Dispersionsindex als meßbares Ergebniß der Wechselwirkung zwischen Materie und Aether nahe proportional der Concentration des Mittels. So verschieden diese Auffassungen sein mögen, darin stimmen sie, wie andere, sämmtlich überein, daß den wägbaren Molekülen bloß eine secundäre Mitwirkung an der Verbreitung des Lichtes eingeräumt, der hauptsächliche vibratorische Act aber in den Aether verlegt wird. Die Undulation eines imponderablen Mediums erscheint demnach als wesentlicher Punkt aller bis dahin vorgetragenen Theorien. Nun aber wird das Princip der Imponderabilität keineswegs im absoluten Sinne der älteren Physik aufrechterhalten; vielmehr ist damit bloß ein höherer Grad materieller Verfeinerung gemeint. Der Grad derselben erscheint kaum scharf bestimmbar, weil über die Größe wie Vertheilung der Stoff-Atome wenig bekannt ist. Aus diesen Gründen wäre nicht undenkbar, daß den letzteren selbst Schwingungen eigenthümlich seien, welche direkt als Licht zur Geltung kommen. Eine derartige Auffassung schwebt Herrn Carl Puschl[1]) vor. Derselbe schreibt dem intermolekularen Aether die nämliche Elasticität, Dichte und Leitungsgeschwindigkeit des Lichtes zu, wie dem freien im **vacuum**. Die bei der Refraktion unverkennbare Verzögerung des Strahles erfahre er ausschließlich auf der Wegstrecke in den Körperatomen, deren Substanz demnach unabhängig vom Aether die Lichtbewegung fortpflanzt. Ist d, δ beziehentlich die Mitteldichte eines Gesammtkörpers und die Dichtigkeit seiner Einzel-Atome; n, ν der Brechungsindex in derselben Ordnung verstanden, so steht $(n-1)/d = (\nu-1)/\delta$. Weil δ und ν der Bedeutung nach unabhängig von den atomistischen Abständen erscheinen, ist die specifische Brechungskraft eines Körpers bei Dichtigkeitsveränderungen constant. Wird ein durchsichtiger Körper mit der Geschwindigkeit c bewegt, so erfährt ein in gleicher Richtung gehender Lichtstrahl nur innerhalb der Atome directe Mitbewegung

---

[1]) Das Strahlungsvermögen der Atome, als Grund der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Körper. Wien, 1869. — Wiener Sitzungs-Berichte 9. Januar, 1873. (Brechung u. Absorption.) — Carl, Repertor. d. Physik. 1873. IX. 121.

und wird deshalb beschleunigt (oder bei entgegengesetztem Sinne verzögert) um $c.(n^2 - 1 + d/\delta)/n^2 = c(n^2 - 1)/n^2$, da d/δ so gut wie verschwindet, wenn die Abstände der Atome viel größer sind als deren Dimensionen. Der hingestellte Ausdruck wurde längst durch Fresnel und Fizeau den Thatsachen entsprechend befunden. Sehr gut paßt ferner zur internen atomistischen Lichtbewegung, daß in bewegten doppelbrechenden Mitteln keine Verschiedenheit im Verhalten des gewöhnlichen und außerordentlichen Strahles von Ketteler constatirt werden konnte. Endlich spricht für jene materielle Lichtlehre die Beziehung der Absorption zur Brechung. Alle Lichtarten, im Aether völlig gleich geleitet, erleiden nur in der Atomsubstanz solche Beeinflussungen, welche zu Ablenkung und Dispersion führen. Jedes Atom wirft an seinen Grenzflächen desto mehr des einfallenden Lichtes zurück, je langsamer dessen interne Bewegung ist. Große Ungleichheiten dieser bedingen ebensolche der Reflexion. Erfährt von zwei homogenen Lichtstrahlen, mit gleicher Intensität eintretend, der eine starke, der andere schwache Zurückwerfungen an den Atomen, so wird jener wegen vielseitiger Zerstreuung der Wellen bald so geschwächt, daß er nur dünne Substanzschichten durchdringt, während für den zweiten viel dickere durchsichtig erscheinen. Dies ist das Phänomen der elektiven Absorption. Sie wie die Brechung sind an die Beschaffenheit der Atome gebunden. Die Refraktion und die daran gereihte Farbenzerstreuung werden anomal, wenn die Atome eine besondere Strahlengattung ungemein langsam fortpflanzen, so daß viel derselben absorbirt wird. Die auswählende Reflexion beziehungsweise Durchlässigkeit für einzelne Wellenarten an und in den Atomen kann sich auf den ganzen Körper übertragen. Derselbe, z. B. übermangansaures Kali, zeigt im Spektrum des durchgegangenen Lichtes dunkle Streifen, wo das des zurückgeworfenen helle besitzt. Überträgt man diese, zunächst für feste und flüssige Stoffe giltigen, Angaben auf Gase, so könnte eine im Weltraum schwebende Masse eines solchen stark absorbirte Farben auch kräftigst reflektiren, andere dagegen ohne bedeutende Zurückwerfung unverändert durchlassen. Die im reflectirten Sonnenlicht von den Kometen aufgezeigten hellen Spektralstreifen dürften unter diesen Umständen nicht ohne Weiteres auf selbständige Lichtentwickelung jener Himmelskörper schließen lassen.

66. An eine Untersuchung des Herrn K. B. Hoffmann über die Spektral-Erscheinungen des Phosphorwasser-

stoffes und Ammoniaks mit dem Ergebniß, daß die Ursache der Lichtentwicklung nicht im Glühen der Gase oder der bei ihrer Zersetzung befreiten Moleküle des Wasserstoffes, Phosphors und Stickstoffes liege, reiht sich eine Darstellung des Herrn F. Hoppe-Seyler[1]) von leuchtender Bewegung der Atome. Jeder Körper kann bei genügender Temperatur Licht aussenden, ja selbst in ziemlich tiefer Wärme, sofern sie beträchtliche Absorptions-Erscheinungen ermöglicht. Bei solchen werden Aetherbewegungen in molekulare umgewandelt, aus denen umgekehrt Lichtwellen hervorgehen können. Ein atomistisch zusammengesetztes Molekül wird durch Stöße nicht bloß selbst in Bewegung gebracht, sondern seine einzelnen Atome können Schwingungen verfallen, deren Amplituden zur angeregten Masse in Beziehung stehen. Auch im ruhenden Molekül können Oscillationen oder Rotirungen der Atome Platz greifen. Nach dem Zeugniß der Spektral-Analyse sind bei der Lichtemission leuchtender Körper nicht die Moleküle im Ganzen, sondern intramolekular bewegte Atome betheiligt. Diese atomistischen Schwingungen hängen ab von der Masse und Affinitäts-verkettung. Ihre Übertragung an den Aether entfaltet Licht, was besonders wirkungsvoll geschieht, wenn große Excursionen chemischen Zerfall veranlassen. Die atomistische Masse erscheint von wichtigerem Einfluß als die Verwandtschaft, denn die Absorptionsspektra verschiedener Salzverbindungen des nämlichen Metalloxydes weichen wenig von einander ab. Gröbere Bewegungen ganzer Molekülgruppen sind nicht primär am Lichte betheiligt, können aber bei großer Stärke auf die Atomschwingungen einwirken, und jedenfalls in Wärme-Erscheinungen hervortreten. Atome von, ihrer Schwingungsfähigkeit entsprechenden, Aetherlichtwellen zur Undulation gebracht vermögen in dieser zu verharren und sie als Licht von, mit der erregenden gleicher Wellenlänge wiederzugeben. Sie bringen unter günstigen Umständen das Gesammt-Molekül in Bewegung, welches hiemit Licht absorbirt. Heftigere Schwingungen der Molekulargruppen, auf die Einzel-Atome zurückwirkend, führen zu Lichtausstrahlung mit vergrößerter Vibrationsdauer. Walten in der inneren Körperarchitektonik bestimmte Molekularanordnungen nach einzelnen Richtungen vor, in denen die Atome mit verschiedentlicher Leichtigkeit schwingen, so entstehen Polarisation, Doppelbrechung, Circulardrehung, Pleochroism in krystallinischen Massen.

[1]) An. d. Physik. 1872. CXLVII. (223.) 101—105.

67. Auch Herr Stein in Dresden[1]) betrachtet das Licht als besondere Art von Atombewegung. Die Schwingungen der selbstleuchtenden Sonne erregen die Atome der Planeten-Atmosphären; dann schwerer bewegliche Massentheilchen; deren stehende Wellen von verschiedener Länge bedingen die einzelnen Farben, fortschreitende die Durchsichtigkeit der Körper. Der Raum, in welchem die optischen Moleküle oder Atomaggregate schwingen, steht zur Lichtentwicklung in Bezug und diese kommt gar nicht zu Stande, wenn die Schwingungs-Punkte zu weit auseinanderliegen.

68. Intramolekulare Schwingungen der Atome statuirt auch H. Lommel. Weil aber die betreffenden Aufstellungen weniger die directe Lichtaussendung, als molekular-optische Übergangszustände in's Auge fassen, betrachten wir sie in der nächsten Abtheilung, welche jenen Vorgängen mit dem besonderen Ergebnisse der Fluorescenz gewidmet ist. — Auch von H. Sellmeier berichteten wir bei früherer Gelegenheit den Ausspruch, das Ursprüngliche bei der Lichterzeugung sei wohl die Vibration von Massentheilchen. In der That zeigt dies die Erfahrung. Über kosmische Lichtquellen gelangen wir bloß zu hypothetischen Vorstellungen. Wo aber der Versuch zu Rath gezogen wird, stößt man stets auf Bewegungen, und zwar am Ausgang und Ende der Erscheinungsreihe, welche als Lichtstrahl bezeichnet wird. Dort sind es gröber mechanisch, oder feiner molekular und thermal angeregte Dislocirungen der Massentheilchen, hier Bewegungen der Fasern und Zellen des Nervengewebes, welche die Voraussetzungen der Gefühle und Urtheile bilden über Helligkeits-Differenzen, Farbenverschiedenheiten, räumliche Projektionen mit all ihren psychophysischen Folgerungen.

VI. Fluorescenz und Absorption.

69. Daß alle scheinbar stoffliche Veränderungen formelle Umlagerungen der kleinsten Körpertheilchen seien, wird bei den chemischen Wirkungen des Lichtes gezeigt. Mögen sich dieselben in den photographisch sensiblen Substanzen zutragen oder bei wichtigen Lebensacten der Pflanze,

[1]) An. d. Physik. 1872. CXLIV. (220.) 260—264.

immer liegt das Wesentliche in Übergang, Verlangsamung, Umgestaltung, Aufhebung seiner Bewegungen. Da auch jene chemischen Ereignisse, welche mit dem Lichte an sich nicht in unmittelbarem Zusammenhang stehen, so gut wie ausnahmslos mit thermalen Vorgängen verknüpft sind, können und müssen Schwingungen der Aetherpunkte, Atome oder Moleküle in solch innige Beziehungen zum Chemismus gebracht werden, daß derselbe entschiedenen molekularmechanischen Charakter annimmt. Wir wollen diesen nicht zu tief in die, zu anerkannter Selbstständigkeit gediehene, verwandte Wissenschaft verfolgen, sondern auf ein Gebiet, dessen, dennoch die Materie mächtig beeinflussende, Erscheinungen vorwaltend optisches Gepräge tragen.

70. Gelegentlich wurde eine Erscheinung berührt, welche 1852 Stokes[1]) Fluorescenz nannte, und nach dem dynamischen Princip des aufgespeicherten Lichtes erklärte. Beobachtungen darüber wurden zufällig wie absichtlich oft gemacht. Ich fand, daß Goethe[2]) bei seinen vielfachen, theilweise freilich in recht zweifelhaftem Lichte schillernden, chromatischen Studien eine einschlägige Thatsache mittheilt, und veröffentlichte meine Angabe an zwei Stellen[3]). Unter der Bezeichnung: „physiologe Farben. Nr. 10. Trübe Infusionen" erinnert Goethe an das früher in Apotheken officielle **lignum nephriticum,** das „meist einen gelben, nicht aber ins Blaue sich umwendenden Aufguß" gebe. Sehr empfehlenswerth sei derjenige des **lignum Quassiae** (Döbereiner); bequemer indeß folgendes Verfahren: „Man nehme einen Streifen frischer Rinde von der Roßkastanie, man stecke denselben in ein Glas Wasser, und in der kürzesten Zeit werden wir das vollkommenste Himmelblau entstehen sehen, da, wo das von vorn erleuchtete Glas auf dunklen Grund gestellt ist, hingegen das schönste Gelb, wenn wir es gegen das Licht halten." — Nicht als erster Fluorescenz-Versuch — in der That gibt es viel ältere — schien mir dies wichtig, sondern als Zeugniß, daß Goethe, wo er nicht in chromatischen Vorurtheilen befangen war, auch für Farbenerscheinungen einen scharfen Blick hatte. Seine Auffassung des Phänomens ist freilich ganz irrthümlich. Wir werden indeß bald sehen, daß eine vollkommen richtige noch zur Stunde nicht allgemein anerkannt ist. Es handelt sich hier, wie überall bei

[1]) On the change of refrangibility of light. Mem. I. II. Phil. Transact. 1852/53 p. 463. (Ph. Mag. Nov.) — [2]) Sämmtl. Werke in 40 Bdn. Stuttgart, Cotta. 1858. XL. S. 28. — [3]) Natforschd. Gsllsch. IX. Ber. Bamberg, 1870. S. 9. u. 10. — An. d. Physik. 1867. CXXXI. (207.) 658.

den ersten Stadien einer neuen Erscheinungsreihe um Thatsachen, deren Sammlung, soweit die Hauptfrage dadurch gefördert wird, an geeigneter Stelle geschehen wird. — Ob die in den ätherischen Wellenzügen versendete Energie an Molekularschwingungen, befähigt zur Lichtwiedergabe, verbraucht oder auch in Wärmebewegung umgewandelt werde; ob letztere vielleicht in, der Fluorescenz analoge, Acte eingehe; scheint zu den fundamentalen Erwägungen über diesen Stoff zu zählen. Die in zweiter Linie angedeutete Calorescenz, Calcescenz, oder negative Fluorescenz, mit deren Erforschung[1]), für wie gegen, die Herren Akin, Bohn, Emsmann, Tyndall in Bezug stehen, konnte nicht zu zweifelloser Anerkennung gelangen. Wärmestrahlung aus optischer Fluorescenz herleitbar wurde vom Fürsten Salm-Horstmar[2]) und H. Studnicka[3]) bejaht, während H. Victor Pierre[4]), später wiederholt in der Fluorescenz forschend, zum Schlusse kommt, daß, wenn überhaupt dunkle Wärmestrahlung durch Fluorescenz erregt wird, es in zu geringem Maße geschieht, um meßbar thermoskopisch zu wirken. — Als eine der frühesten Arbeiten über Fluorescenz darf ich vielleicht meine vor 26 Jahren gedruckte Darstellung[5]) bezeichnen. Nach dem damaligen Thatbestand, den ich um die blaue Fluorescenz des Petroleums vermehrte, war ich der Ansicht zugekehrt, es handle sich, im Sinne der Stokes'schen Regel des Umsatzes kurzer Wellen in längere, wesentlich um „eine im Kreislauf des natürlichen Lebens überall zu Tag tretende Umänderung von Bewegungen und Übertragung von Kräften."

71. Der letzte Ausspruch wurde nie beanstandet, sondern im seitdem verflossenen Vierteljahrhundert zu immer weiterer und festerer Geltung gebracht. Der direct vorangegangene Satz, das sogen. Stokes'sche Gesetz, aber vornehmlich durch die Forschungen von Herrn E. Lommel stark erschüttert. Obwohl mehrere Physiker dafür eintraten und der Kampf noch in den letzten Zeiten hin- und herwogt, bin ich über den endgiltigen Sieg kaum in Zweifel — nicht allein wegen des Beobachtungs-Materiales, sondern fast noch mehr aus theoretischen Erwägungen. Weil

---

[1]) An. d. Physik; 1861. CXIV. (190.) 651.—1866. CXXIX. (205.) 352.—1867. CXXX. (206.) 162. 367. — CXXXI. (207.) 554.—1868. CXXXIII. (209.) 165. — [2]) An. d. Physik. 1861. CXIII. (189.) 54. — [3]) Wien. Akad. Ber. XLIV. (2.) 289. — [4]) LIII. (2.) An. d. Physik; 1866. CXXVIII. (204.) 621. — [5]) Naturforschende Gesellschaft. IV. Ber. Bamberg, 1859. S. 38—42.

diese, überwiegend den Beziehungen zwischen Fluorescenz und Absorption entnommen, die molekularoptischen Verhältnisse wesentlich berühren, müssen wir dabei verweilen. — In den Sitzungsberichten der physikal. medic. Societät in Erlangen[1]), jedoch auf Grund viel älterer, wiederholter Untersuchungen dieses Gegenstandes bestimmt H. Lommel die Bewegung eines Atomes, das, unter periodischen Impulsen stehend, nach Gleichgewicht strebt. Die der Absorption wie Fluorescenz eigenen Schwingungen sind intramolekulare, bei den allgemeinen Voraussetzungen, daß die Kraft, welche jedes Atom zur Gleichgewichtlage zieht, steigenden Potenzen der Verschiebung proportional sei, daß ferner ein zur Geschwindigkeit in geradem Verhältniß stehender Bewegungswiderstand vorhanden sei, daß endlich homogenes Licht in einfachen pendelnden Schwingungen bestehe. Die Bewegungsformel eines Atomes der Masse m ist

$$md^2x / dt^2 = - K . dx / dt - Ax - Bx^2 - Cx^3 - F \sin qt \quad \text{(I.)}$$

worin das erste Glied der rechten Gleichungsseite den Widerstand, das letzte den periodischen Impuls bedeutet, während die drei Mittelglieder die Kraft darstellen, welche das Atom aus dem Abstand x zum Ruhepunkt zieht. Führt man eine kleine Größe e ein, deren Verschwinden auf unendlich kleine Schwingungen den Fall reducirt, und setzt $K/m = 2k$, $A/m = p^2$, $B/m = be$, $C/m = ce^2$, $F/m = f$, so wird aus (I.)

$$o = d^2x/dt^2 + 2kdx/dt + p^2x + be\,x^2 + ce^2x^3 + f \sin qt \quad \text{(II.)}$$

Zur angenäherten Integrirung wird x in einer Reihe nach Potenzen von e entwickelt, eine Anzahl linearer Differentialgleichungen dargestellt, und dann eine mathematische Analyse durchgeführt, welche im Original $2^1/_2$ Seiten füllt, auszüglich aber nicht wiederzugeben ist. Höchst maßgebend erscheint in ihr ein Glied $t \cos pt . f / 2p$, das eine Schwingung vorstellt, deren Amplitude wie lebendige Kraft der Zeit proportional wächst. Der Zuwachs des Körper-Atomes an lebendiger Kraft entgeht der Wellenbewegung, welche ihm den periodischen Impuls $f \sin pt$ gibt. Die Wellenbewegung wird demnach von einem Körper absorbirt, wenn ihre Periode derjenigen der Atomschwingungen gleich. Ein weiteres bemerkenswerthes Glied ist
$- t \sin (pt - \Psi) \times Nfb / 6p^3$, demgemäß eine Welle, deren Schwingungszahl doppelt so groß ist, als die dem Grundton des Massentheilchens eigenthümliche, gleichfalls von diesem absorbirt wird. Ähnlich folgt aus dem Gliede

---

[1]) Carl, Repertor. f. Exp. Phys. u. phys. Technik. 1879. XV. 15—43.

$t \sin pt . 4 f^2 b / 9 p^5$, daß eine Wellenbewegung, deren Schwingungszahl halb so groß ist, als diejenige des Grundtones, ihn verstärkend, auch von den Atomen absorbirt wird. Beide letztere indirekte Absorptionen sind schwächer, als die „Absorption durch Einklang“. — Hat k einen positiven Werth, während bisher $k = o$ stand, so ist der Gewinn an lebendiger Kraft für die, vom Impuls in der Zeit t erregte, Atomschwingung $m/2 . ((\int_0^t dt . (dx/dt)^2) - (\int_0^t dt . (dx/dt)^2)_{(f=o)}.)$ Daraus wird als Absorptions-Maß in der Zeiteinheit $M^2 q .^2 m/4$ erhalten, oder $m f^2 \sin^2 \alpha / 16 k^2$, welcher Ausdruck zum maximum steigt für $\sin \alpha = 1$, $\alpha = 90^0$, $tg \alpha = \infty$. Der Werth $tg \alpha = 2 kq / (p^2 - q^2)$ wird unendlich für $p = q$; demnach findet das maximum der Molekular-Absorption statt, wenn die Schwingungszahl der einfallenden Welle derjenigen gleicht, welche dem Körperatome eigen wäre, wenn es ohne Widerstand schwänge. Im Spektrum erscheint ein scharfer Absorptionsstreifen nur für $k = o$; sonst ist derselbe breit, an den Grenzen verwaschen. Die Absorptionskurve für $\sin^2 \alpha$, deren Abscissen die Schwingungszahlen sind, fällt gegen die rothe Spektralseite steiler ab, als auf der blauen. Die Gase, deren Atome widerstandslos schwingen, zeigen schmale Absorptionslinien; flüssige und feste Stoffe, in denen die atomistischen Vibrationen durch die Cohäsion erschwert sind, breitere Bänder. Für eine zweite Annäherung ist dem Absorptions-Ausdruck $M^2 q^2 . m/4$, das Glied beizufügen $(b^2 e^2 . M^4 \sin^2 2 \beta / 16 k^2) m/4$, das aus der Integration von $(dx_1 / dt)^2$ hervorgeht, und der Zeit proportional ist. — Die indirecte Absorption durch die nächst niedere Oktave, bezogen auf den wirklichen Grundton des, mit Widerstand schwingenden, Atomes erstreckt sich auf alle Wellen, „für welche q dem Werthe 2r nahekommt“. Auch der indirect veranlaßte Absorptionsstreifen ist um so breiter, je größer k wird. Die theoretisch gefundene Absorption durch die nächst höhere Oktave bleibt unmerklich. — Die absorbirte Welle bringt das Atom selber in Schwingungen oder verstärkt schon vorhanden gewesene. Im Ausdruck $M \sin (qt - \alpha) + N E^{-kt} \sin (rt + \Psi) = x_0$ stellt der zweite Summand die Eigenschwingung des Atomes dar, wegen $1/E^{kt}$ mit der Zeit t schwächer werdend, und wegen veränderlicher Amplitude kein homogenes Licht darstellend. Fouriers Reihe führt auf einfache pendelartige Elemente. Die in Erinnerung ans bestimmte Integral erhaltene Gleichung

$$\sin (rt + \Psi) / E^{kt} = k / \pi \int_{-\infty}^{+\infty} \left((\sin ((r + z) t + \Psi)) / (k^2 + z^2) \right) \times dz$$

ist der analytische Ausdruck des continuirlichen Spektrums. Das von einem mit Widerstand schwingendem Körperatom ausgestrahlte Licht gibt ein Spektrum, das vom Orte der Hauptschwingungszahl r beiderseits um so weiter sich erstreckt, je größer der Widerstand k ist; r$\left(= \sqrt{p^2 - k^2}\right)$ liegt immer tiefer, als die Schwingungszahl p der stärksten Absorption, welche dem ohne Widerstand vibrirenden Atome angehören würde. Weil in idealen Gasen k = o, besteht das Spektrum eines selbstleuchtenden vollkommenen Gases in einer schmalen hellen Linie von der Schwingungszahl p. Dieselbe wird breiter und zugleich gegen die weniger brechbare Farbenseite verschoben, wenn Dichte oder Druck des Gases zunehmen. Das hiemit entstandene Bänderspektrum kann zuletzt in ein continuirliches übergehen. — Die weitere Verfolgung der von $(\sin(rt + \Psi))/e^{kt}$ abhängigen Vorgänge ergibt, daß die einfallende Welle directe Absorption erfährt, deren maximum sich durch einen Streifen bei der Schwingungszahl p verräth. Die hiemit eingeleitete Schwingung der Körper-Atome entsendet F l u o r e s c e n z l i c h t von der Hauptschwingungszahl r, unter derjenigen der Maximal-Absorption liegend. Die Ausstrahlung erscheint nicht homogen, sondern in Form eines verschiedentlich breiten Spektralstreifens, welcher von jeder dem Fluorescenz- und Absorptionsgebiet gemeinsam angehörigen Lichtwelle hervorgerufen werden kann, so daß auch Fluorescenzfarben auftreten von h ö h e r e r Brechbarkeit, als dem erregenden Strahle eigen ist. Indem die F l u o r e s c e n z in optischem Sinne der A b s o r p t i o n als E m i s s i o n gegenübersteht, ist der Absorptionsstreifen die Umkehrung des Fluorescenzspektrums doch mit Verschiebung und Änderung der Breite wie Intensitätsvertheilung. Diese Verschiedenheiten werden um so beträchtlicher, je mehr Hauptschwingungswerthe innerhalb der sichtbaren Farbenreihe den absorbirenden Atomen zukommen. Solche Vielheit der Schwingungen, durch directe wie indirecte Absorption hervorgebracht, kann auch mehrere Fluorescenz-Vibrationen wecken, deren Intensität proportional der Energie ist, mit welcher die entsprechende Absorption geschehen war. — Die Körper, welche die bis dahin besprochenen Erscheinungen zeigen, werden F l u o r e s c e n z s t o f f e e r s t e r A r t genannt, z. B. Chlorophyll, Uranglas. Bei ihnen ruft jeder absorbirte homogene Lichtstrahl das ganze Fluorescenzspektrum hervor; und wenn jener dem gemeinsamen Gebiete der Absorption und Fluorescenz angehört, so können die Fluorescenzwellen kleinere, gleiche, größere Schwingungszahlen besitzen,

als die erregende Absorbenzvibration. Der Absorptionsstreifen ist stark entwickelt und direct erzeugt. An seiner dunkelsten Stelle liegt eine höhere Schwingungszahl als an der hellsten Fluorescenzstelle. Eine schwächere Absorption im brechbareren Spektraltheil bis ins Ultraviolet wird wohl indirect „durch die nächst tiefere Oktave" erzeugt. Diese Fluorescenz ist durch absorbirtes Licht hervorgerufenes Selbstleuchten der Körpermoleküle und weniger abhängig vom erregenden Strahle, als von Bau und Verkettung der Atome. Dagegen hängt die Farbenmischung einer Fluorescenz zweiter Art, z. B. beim Chinin, vornehmlich von der erregenden Schwingungszahl ab. Sie wird durch indirecte Absorption eingeleitet. Ihr mathematischer Ausdruck ist $(\cos((q-r_2)t-\alpha-\psi))/e^{kt}=k/\pi . \int_{-\infty}^{+\infty} dz((\cos((q-r_2+z)t-\alpha-\psi))/(k^2+z^2))$ worin r_2 die 2π fache atomistische Schwingungszahl einen großen Werth hat, demnach $q-r_2$ viel kleiner ist als die erregende Vibration q, und auch $q-r_2+z < q$. Die Schwingungen dieses Fluorescenzlichtes liegen demnach stets unter denen des homogenen Erregungsstrahles. (Stokes.) Ein Fluorescenzspektrum dieser zweiten Art verschiebt sich bei Brechbarkeitsveränderungen des erregenden Strahles gegen die minder brechbare Seite, hängt also von der Schwingungsdauer jenes ab. Hier tritt die Absorption in breiten Schattenbändern auf und ist überhaupt schwach. Doch entspricht gleichfalls ihrem **maximum** das der Fluorescenz. In ihrem Spektrum variirt allmählig die Färbung, während diejenige im „fluorescirenden Spektrum" erster Classe überall dieselbe bleibt. In der Fluorescenz zweiter Art („durch Differenztöne") werden durch indirecte Absorption tief liegende, an sich unmerkliche, Schwingungen hervorgerufen, welche mit denen der absorbirten Welle empfindbare Combinationsstrahlen liefern. — Es gibt noch eine Fluorescenz dritter Ordnung, in der dem Körperatom ins sichtbare Spektrum fallende Schwingungen zukommen, solche der nächst tieferen Oktave und vielleicht noch weiter abwärts gelegene. Hieher gehören z. B. Lakmus, Orseille und die verschiedenen Nuancen des Chamäleïn. Diese Stoffe besitzen starke Absorption und kräftige Färbung. In ihrem fluorescirenden Spektrum mit übereinstimmenden **maximis** der Absorption und Fluorescenz sind zwei Theile zu unterscheiden; eine gleichfarbige Strecke, eine andere mit allmähliger Farbenänderung. Hier liegen, willkürlich hervorrufbare, Mischungs-Resultate vor; doch ist denkbar, daß ein chemisch-einheitliches Molekül die Fluorescenzen

beider ersten Arten, und hiemit auch die dritte besitzt. — Der Ausdruck **M** sin (qt — α) stellt isochrone Pendelbewegungen dar, und zeigt, daß das Körperatom auch homogenes Licht ausstrahlt von, der Absorption proportionaler, Intensität. Dies entspricht A. Lallemands „isochromatischer Fluorescenz“ [1]). Diese kommt allen absorbirenden Stoffen zu; während sonst der Satz, daß jeder fluorescirende Körper auch Licht absorbirt, nicht sich umkehren läßt, weil das Fluorescenzspektrum bei directer Absorption ins Ultraroth fallen kann, bei indirecter aber genügend tiefe Schwingungen zur Combination der Differenztöne fehlen können.

72. H Lommels Ansichten über die Fluorescenz wurden von H. H. Lamansky [2]), Lubarsch und Hagenbach bekämpft. Gegen Lamansky bringt Lommel vor, daß bei Betrachtung der mittleren Brechbarkeit des erregenden, wie des Fluorescenzlichtes letztere allerdings höchstens gleich, meist aber kleiner gefunden wird, als erstere. Auf diese **„déviation moyenne“** beschränkte sich aber der Gegner, während die oberen Grenzen des Einfalllichtes und der Fluorescenz zu beachten waren Es kommt in dieser Frage vornehmlich auf die brechbareren Strahlen des Fluorescenzspektrums an, welche zumal wegen ihrer starken Absorption seitens der fluorescirenden Substanz, auf der das Spektrum entworfen wird, möglichst kräftig erhalten werden müssen, um im entscheidenden Versuch sichtbar zu sein Hiezu wirkt Lamanskys Beleuchtungsart nicht günstig, weil die doppelte Totalreflexion das Licht erheblich schwächt. Vermeidet man diese ohne Änderung seiner übrigen Methode, so erscheint die obere Grenze des Fluorescenzlichtes brechbarer, als diejenige des erregenden Lichtes Um dies zu zeigen, bedarf es nicht einmal homogenen Lichtes. Fällt im dunklen Raume Sonnenlicht auf ein Schwefelkohlenstoffprisma, das aus der Lage kleinster Ablenkung so gedreht wird, daß die Einfallstrahlen die erste Fläche möglichst steil treffen, die brechbarsten Wellen aber an der letzten Fläche totale Zurückwerfung erfahren, so können diese für den weiteren Verlauf völlig beseitigt werden. Überdies kann man die Heliostatöffnung mit rothen Gläsern bedecken. Das Licht enthält beim Verlassen des Prisma sicher bloß Wellen von kleinerer Brechbarkeit, als die Spektrallinie **D**; wird es mittels einer Linse auf Naphthalinroth concen-

[1]) De l'illumination des corps transparents et opaques. — d'Almeida's Journ. d. Physique. V. 329. — [2]) C R. 1879. LXXXVIII. 1192. 1237.

trirt, so erhält man spektrometrisch als obere Grenze des erregenden und Fluorescenz-Lichtes für die Minimal-Ablenkungen 62°1′ u. 63° beziehentlich den „Index“: 1.7494 und 1.7576. — Nachträglich sei bemerkt, daß H. S. Lamansky sein „Spektroskop zum Studium der Fluorescenz-Erscheinungen“ beschreibt in Carl's Repertor. d. Exp. Phys. u. physikal. Technik (1880. XVI. 3. 4. S. 253—255 mit Figur), wo auf S. 232—239 H. Lommels Entgegnung steht.

73. Herr Hagenbach stellte als Gegner jeder, den Stokes'schen Satz negirenden, Fluorescenztheorie so gründliche und umfassende Untersuchungen über die einschlägigen Erscheinungen an, daß diese unter jeglicher Voraussetzung gefördert werden. Zuvörderst wurden „die optischen Eigenschaften des Blattgrün“ betrachtet [1]), dessen Fluorescenz von Stokes beobachtet und beschrieben worden sind. Das auf der Chlorophylllösung entworfene Spektrum ist von gemeinsamer blutrother Farbe bis ins Ultraviolet, doch mit wechselnder Intensität, so daß sieben verschieden breite Streifen mit erhöhter Fluorescenz erscheinen. Von schwächerem grünem Schimmer, wohl einem besonderen Stoffe zuzuschreiben, befreit man das Phänomen, indem Rubinglas vor die Augen gehalten wird. Intermissionen der Fluorescenz mit fünf Helligkeitsminimis erwähnt schon Stokes. Festes Chlorophyll, aus erkaltender Alkohollösung niedergeschlagen oder in den frischen Blättern enthalten, „fluorescirt nicht“; „das rothe Licht, welches einige Beobachter bei festem Chlorophyll in den natürlichen Blättern als Fluorescenzlicht ansahen, läßt sich auf ein durch Absorption entstandenes Roth zurückführen“. Dies wurde später wesentlich modificirt und erweckt wohl auch theoretisches Bedenken. — Die lebendige Kraft, von den leuchtend schwingenden Aether-Atomen an die Körpermoleküle abgegeben, und von diesen wieder in veränderter Form auf jene übertragen, strahlt als Fluorescenzlicht aus. Wenn festes Chlorophyll nicht fluorescirt, wohl aber Licht absorbirt, so erschiene dies nicht mehr als Farbe, sondern würde in der Pflanze umgewandelt zu Wärme oder chemischer Arbeit. — Schließlich wird gezeigt, daß Stokes Gesetz, wonach die Brechbarkeit des erregenden Lichtes die obere Grenze der Brechbarkeit des Fluorescenzlichtes sei, für die Streifen II. bis VII. ganz sicher, aber auch für I. bestätigt wurde, wenn beachtet wird, daß das Spektrum des Fluorescenzlichtes schwach ist, seine scheinbare Grenze also da liegt, wo „etwas stärkere Intensität“ besteht.

[1]) **An. d. Physik. 1870. CXLI. (217.) 245—275.**

74. Vor Hagenbachs weiterer Darlegung sei bemerkt, daß Lommels Fluorescenztheorie schon 1862 in erster, später namentlich 1871 modificirter, Form von Schwyz aus[1]) veröffentlicht wurde. Ausgegangen wird von Eisenlohrs Analogisirung der Combinationstöne und Fluorescenzfarben. Die Zahl der Schwingungen, in welche wägbare Atome durch die lebendige Kraft des vibrirenden Aether versetzt werden, hängen wegen mitwirkender Molekularkräfte von der Natur der Körper ab. Nur unter besonderen Umständen werden demnach jene materiellen Bewegungen Licht aussenden, entweder bloß während der Bestrahlung oder nachleuchtend. In anderen Fällen können dunkle Oscillationen resultiren, welche indeß mit den einfallenden Wellen interferirend sichtbare Combinationsfarben geben mögen. In diesem Sinne hängt das Fluorescenzlicht nicht völlig vom erregenden ab, doch ebenso wenig ausschließlich von den Molekularwellen, sondern von der Verbindung beider Bewegungen. Entscheidend für die Fluorescenzfarbe ist das Bereich der Grenzen, in denen die Schwingungszahlen der von den Atomen ausgehenden dunklen Wellen liegen, und das Intensitätsverhältniß derselben.

75. In ausführlicher Arbeit[2]) erforscht H. Hagenbach, Grenzen und maxima der Fluorescenz, das Absorptionsspektrum für die fluorescirenden Stoffe, die Spektral-Analyse des Fluorescenzlichtes. 36 Körper wurden geprüft. Darunter ist vornehmlich das Naphthalinroth wichtig. Dessen Fluorescenz wird noch bemerkt, wenn 1 cub.cm. Weingeist 1/400000 mllgr. enthält; sie steigt bloß bis zu einem gewissen Concentrationsgrad, um dann wieder abzunehmen. Die Strahlen, welche die Fluorescenz erregen, und diejenigen letzterer selbst fallen theilweise zusammen. Die Richtigkeit von Stokes Gesetz fließt daraus, daß dem Spektrum des Fluorescenzlichtes grün fehlt, wenn das erregende Licht gelb ist. Dies wird auf Grund wiederholter Versuche aufrecht erhalten gegen Lommels Angabe, „daß unter Umständen das Spektrum des Fluorescenzlichtes um ein augenfälliges Stück weiter nach der brechbareren Seite hinreiche als das Spektrum des erregenden Lichtes". Auch solle das des „durch Natriumlicht erregten Fluorescenzlichtes die gleiche Ausdehnung haben wie das des durch Sonnenlicht erregten". Daß das deutliche Spektrum sein genaues Ende am Absorptionsstreifen findet, spricht aber

[1]) An. d. Physik. 1862. CXVII. (193.) 642—645. — [2]) An. d. Physik. 1872. CXLVI. (222.) 65—89. 232—257. 375—405. 508—538.

nebst der Verschiebung des **maximum** für Stokes Satz. — Auch bei anderen Stoffen fehlt im Fluorescenzspektrum stets das farbige Licht, welches das erregende an Brechbarkeit übertrifft. — Vom schwefelsauren Chinin ist bemerkt, daß J. Herschel seine Beobachtungen daran als „epipolische Dispersion" bezeichnete. Festes Chinin fluorescirt schwach. — Des Griesholzes (**lignum nephriticum**) erwähnt, wie ich zeigte, Goethe. Doch wurden schon vor drei Jahrhunderten Beobachtungen damit angestellt. Hagenbach erhielt von H Prof. Oberlin in Straßburg Stücke des jetzt obsoleten Präparates, welche weniger leisteten, als erwartet ward, weil vermuthlich das Glykosid großentheils zersetzt war. — Beim Petroleum wird erwähnt, daß ich[1]) zuerst dessen blaue Fluorescenz beobachtete und beschrieb. Die Helligkeits-Unterschiede im Spektrum sind hier gering, **maxima** und **minima** wenig ausgeprägt. Die zugehörige Absorption betrifft vorwaltend Violet. — Die Eigenschaft einiger Flußspatvarietäten, im durchgehenden und zurückgeworfenen Lichte je eine besondere Farbe zu zeigen, bespricht schon 1828 Herschel. — Auf das Uran- oder Kanarien-Glas machte 1838 Brewster hinsichtlich seiner „inneren Dispersion" aufmerksam. — Beim Blattgrün besteht für Grenzen wie **maxima** der Fluorescenz ein Unterschied zwischen frischen und modificirten Präparaten. Jenes gibt sechs Maximalstreifen. Im zweiten Fall erscheint ein neuer Streifen zwischen dem vierten und sechsten, während die übrigen verschoben oder vereinigt auftreten. Im natürlichen „Blätter"-Chlorophyll ist der ins Roth hineinverschobene Absorptionsstreif so charakteristisch, daß man ihn durchs Taschenspektroskop im Reflex der Wiesen und Wälder sieht. — Trotz vieler Übereinstimmungen ist eigentlich jedes Fluorescenzphänomen individuell, weil es wesentlich mit der Molekular-Constitution oder stofflichen Beschaffenheit der Körper zusammenhängt. — Die Beziehung zwischen Fluorescenz und Absorption fußt auf dem mechanischen Satze von Erhaltung der lebendigen Kraft. Doch kann eine besondere Absorption für sich mit der Haupterscheinung verbunden sein, vielleicht wegen Vermengung von Stoffen, welche nicht sämmtlich der Fluorescenz fähig sind. — Aggregatzustand und Lösungsmittel sind für Auftritt der Fluorescenz höchlich maßgebend, doch so verschiedentlich, daß eine allgemeine Gesetzmäßigkeit nicht auffindbar ist. Daß Fluorescenz und Phosphorescenz

[1]) An. d. Physik; 1867. CXXXI. (207.) 659.

bloß graduell verschieden seien, erkennt man am besten an den intermittirenden Fluorescenzspektren. — Die von homogenem Licht erregte Fluorescenz schließt verschiedene Wellenlängen ein, ist also nicht der einfachen akustischen Resonanz zu vergleichen. Man muß vielmehr wohl an Kräfte denken, welche nicht allein der Schwingungs-Amplitude schlechthin proportional sind, sondern Vibrationen liefern, deren Bewegungsdauer möglicher Weise eine complicirte Funktion des Ausschlages bildet. Viel Ähnlichkeit mag damit die Lichtemission glühender Stoffe haben, doch gesellt sich zu deren einfacheren, für alle Körper übereinstimmenden Verlauf für die Fluorescenz der besondere Einfluß der Molekular-Constitution. — In einem Nachtrag[1]) erklärt H. Hagenbach, daß er sich jetzt von der Fluorescenz des natürlichen Chlorophylls in frischen Blättern sicher überzeugt habe; doch sei sie schwächer, und ihr **maximum** gleich den Absorptionsbändern gegen Roth verschoben. — Magnesiumplatin-Cyanür ändert die rothe Fluorescenz beim Erwärmen[2]) oder trockenem Verwittern in ziegelroth dann gelbgrün.

76. H. Lubarsch[3]) fand Stokes Satz bestätigt am Fluoresceïn und Purpurin in Alaun oder Aether; für ersteres wurde festgestellt das Absorptionsmaximum bei 85. 5, die obere Grenze des Fluorescenzspektrums bei 86; für beide Purpurinlösungen beziehentlich: 65, 65; 73.5, 73. An acht anderen Körpern ergab sich gleichfalls die allgemeine Schlußfolgerung, daß jeder fluorescirenden Substanz bestimmte erregende Strahlen zukommen, die Farbe des Fluorescenzlichtes vom einfallenden abhängt, und die brechbarsten Strahlen des durch Sonnenlicht erregten Fluorescenzlichtes der Stelle der Maximal-Absorption entsprechen. Später tritt dieser Forscher der Lommel'schen Theorie bei.

77. 1876 vertheidigt H. Lommel seine durch Beobachtungen am Naphthalinroth gestützte Negation des Stokes'schen Gesetzes gegen Hagenbach und Lubarsch, deren Einwände nur in der Mangelhaftigkeit ihrer Untersuchungs-Methoden begründet seien. Er zeigt dann durch verfeinerte Forschungen wiederholt, daß bei jener Substanz rothorange auch die (brechbarere) gelbgrüne Fluorescenz erregen könne, überhaupt jeder erregungsfähige homogene Strahl sowohl gleiche als längere wie kürzere

---

[1]) An. d Physik. 1874. Jubelband. 303—313. — [2]) Grailich, krystallograph. opt. Untrs. S. 113. — Greiß; An d. Physik. 1859. CVI. (182.) 645. — [3]) An. d Physik. 1874. CLIII. (229.) 420—440.

Wellen im Fluorescenzlicht hervorrufen. — Ähnlich ist es mit Chlorophyll und Eosin, während bei den Chamäleïnfarbstoffen complicirtere Verhältnisse herrschen. Zum Schluß werden die früher hingestellten Sätze gefolgert[1]. — Im nächsten Jahre[2] untersucht Lommel die Intensität der Fluorescenz und setzt die Menge des vom Volumen-Element eines Stoffes ausgestrahlten Fluorescenzlichtes der des Absorptionslichtes proportional. Die Energie des absorbirten Lichtes vertheilt sich auf atomistische und molekulare Bewegungen in verschiedenem Verhältniß. Später stellen Lommels Untersuchungen die Abweichung der Fluorescenz von Stokes Regel als weit verbreitet hin, indem zehn Stoffe ganz, sechs theilweise sich demselben entziehen. Besonderheiten, wie daraus abgeleitete Erweiterungen oder Verfeinerungen der Theorie, welche in, für unseren Zweck genügender, Vollständigkeit Eingangs dieses Abschnittes dargelegt wurde, müssen den Originalien[3] entnommen werden. — Ebenso die bestätigenden Versuche d. H. H. Lubarsch, Brauner und E. Linhardt[4].

78. Nur in Kürze darf der weiteren Controverse in dieser für die Molekularoptik höchst wichtigen Sache gedacht werden[5]. H. Hagenbach bleibt auch den neueren Forschungen H. Lommels gegenüber auf der Richtigkeit des Stokes'schen Gesetzes stehen, dem er indeß im späteren Verlauf keineswegs wesentlich principielle Bedeutung beilegt, sondern bloß eine empirische, hiemit ausdrücklich zugebend, daß durch eine wohl und sicher bestätigte Thatsache von, ihm widersprechender, Art es fallen müsse. Die erstere Ansicht wurde freilich von H. nirgend direct ausgesprochen; es scheint aber doch, als ob in den ersten Stadien der Polemik jener Satz in theoretischmaßgebendem Sinne gemeint gewesen sei, und dürfte deshalb das neuere positive Zugeständniß der weiteren Behandlung der Frage als günstig begrüßt werden. Im Einzelnen sieht H. am ausstrahlenden fluorescirenden Körper das Verhalten einer glühenden Fläche, welche senkrecht oder schief betrachtet gleiche Helligkeit zeigt. L's Angabe, daß die Lichtunterschiede im Absorptionsspektrum schärfer erscheinen, als beim Fluorescenzspektrum bestreitet er ebenso wie eine mit wachsender

---

[1] An. d. Physik 1876. CLIX. (235.) 514. — [2] An. d. Physik. 1877. CLX. (236.) 75—96. — [3] An. d. Physik. 1878. III. (239.) S. 113. — 1879. VI. (242.) S. 115. — 1883. XIX. (255.) S. 356. – 1884. XXI. (257.) S. 422. — [4] An. d. Physik. 1879. VI. (242.) 248. — Wien. Ber. 1877. S. 178—180. Bbl. II. 152. — Inaug. Diss. Erlangen, 1882. — [5] An d. Physik. 1879. VIII. (244) S. 369. – 1880. X. (246) S. 449. 631—1883. XVIII. (254.) S. 45.

Concentration stärkere Zurücktretung der kräftig absorbirten Bestandtheile gegen schwächer absorbirbare. Im Spektralapparat bewährten Magdalaroth Eosin und Fluoresceïn stets das Stokes'sche Gesetz. Das Fluorescenzlicht enthielt nur Grün, wenn im erregenden brechbarere Wellen, als Natriumgelb enthalten waren. — In Lommels Entgegnung werden zunächst photometrische Fragen behandelt. Bei Berücksichtigung der Absorption gilt nicht das Flächen-, sondern das Volumen-Element der Lichtquelle als ausstrahlend. Neben dem Flächen-Element $d\varphi$ ist demnach auch die Dicke R zu beachten. Lamberts bekanntes Cosinus Gesetz gilt streng bloß für undurchsichtige glühende Körper. Von einer, in nahe absorptionslosem Gase fein vertheilten, festen Masse mit dem Emissionsvermögen ck ist die Lichtstrahlung $L = d\varphi . R . ck . \alpha$, worin α der von den soliden Atomen ausgefüllte Volumentheil sei. Das Emanationsgesetz für fluorescirende Körper von unendlicher Dicke oder hoher Concentration erscheint in der Form
$L / L_0 = ((k + k,) \cos e) / (k \cos e + k,)$ von der Beschaffenheit des strahlenden Körpers und seiner Absorptionsübung abhängig. — Experimental wird Fluorescenz durch prismatisch zerlegtes Sonnenlicht erzeugt mit dem Erfolg, daß Strahlen von, das Natriumgelb übersteigender, Brechbarkeit im Erregungslichte des fluorescirenden Magdalaroth fehlen, dessen dennoch (unter rother Belichtung) auftretender grünlicher Schimmer also von Wellen hervorgerufen wird, länger als die bei der Spektrallinie D. Dies grünliche Fluorescenzlicht wird auch durch grüne Gläser gesehen, wenn das gut im Dunkel ausgeruhte Auge sehr nahe gebracht wird. — Dies gelang Hagenbach ebensowenig, als die Beobachtung des von HH. Lommel und Lubarsch[1]) festgestellten grünlich schimmernden „Übergreifens" des „abgeleiteten" Spektrums, das der Erste beider Forscher an der stärksten Fluorescenzstelle am breitesten fand. — Schließlich sei einer Frage gedacht, welche an Lommels Theorie Herr J. Obermann[2]) richtete: Warum gibt das Fluorescenzlicht ein continuirliches Spektrum, das von abgestimmt schwingenden Massentheilchen stammend aus hellen Streifen bestehen sollte? Der Vibrations-Perioden des Moleküles müßten denn unendlich viele sein! Warum aber nicht?! Wie viel Atome, welche ja die wirklichen Wellenpunkte bilden, in einer Molekulargruppe liegen,

---

[1]) An. d. Physik. 1879. VI. (242.) S. 248. — [2]) An. d. Physik. 1871. CXLIII. (219.) S. 660.

wird und kann unentschieden bleiben; jedenfalls dürften es genug sein, daß die Schwingungen hinreichend fein abgestuft sind, um die optisch (wie akustisch) meßbar erscheinenden Distinktionsgrenzen zu überbrücken.

79. Der Fluorescenz ist sprachlich wie im optisch molekularen Vorgang verwandt die Phosphorescenz. Der Unterschied liegt wohl bloß in der Dauer der leuchtenden Atomschwingungen während oder nach der Erregung. Manche Körper stehen auf der Übergangslinie, so der durch Lommel 1884 in gelbrother Fluorescenz beobachtete Kalkspat, dessen Farbenton und Spektralphänomen gleich bleiben während, wie nach der Bestrahlung. Schon früher untersuchte derselbe Forscher die Phosphorescenz[1]) Deren Licht ist während der Bestrahlung viel stärker, als nach derselben, und in beiden Fällen eigenthümlich verschieden zusammengesetzt. So erstreckt sich das Phosphorescenzspektrum der Balmain'schen Leuchtfarbe von C bis G und hat zwei Helligkeitsmaxima in Grün und Blau, so lang Licht einfällt. Nach dessen Abblendung verschwinden allmählich die längeren Farbenwellen des Spektrums, während dessen brechbarerer Theil noch lange, wenn auch langsam abnehmend, fortleuchtet. Noch schneller erbleicht unter solchen Umständen das Grün beim hellblauen Schwefelcalcium, überdauert dagegen am grünlich- und himmel-blauen Präparate die Bestrahlung. Hier ist auch die durch Ultraroth hervorgebrachte Phosphorescenz von längerer Dauer, als in beiden ersten Fällen. Die zuletzt erwähnte Erregungsart möchte den längeren Aetherwellen günstiger sein, als den kurzen. — Der an erster Stelle genannten Substanz sind nach der Insolation zwei Absorptionsstreifen im Ultraroth charakteristisch. Für sie erscheinen während der Bestrahlung, besonders durch rothe Medien zugeleitet, helle Linien, welche im Spektroskop mittels grünlichblauen Phosphorescenzlichtes sichtbar gemacht werden. Die ultrarothen Schwingungen, mit großer thermaler Kraft ausgerüstet, scheinen die von den brechbareren Wellen erregte Phosphorescenz anfangs zu stärkerem Leuchten zu bringen, dann aber zu vernichten.

---

[1]) An. d Physik. 1883. XX. (256.) S. 847—860. Mit 3 Fig. auf Taf. VII.

VII. Molekulare Umwandlung des Lichtes.

80. Die chemischen Wirkungen des Lichtes sind längst zu genau bekannt und zu breit in die praktische Anwendung der Naturwissenschaft übergegangen, daß hier nicht die äußerste Einschränkung erlaubt, ja geboten wäre. — Für unseren Zweck erscheinen mehr als die stofflichen Folgen die begleitenden Absorptions-Vorgänge wichtig. Selbstständige Beobachtungen von letzteren, namentlich am Blute und Chlorophyll wie Angaben über andere Arbeiten enthält mein Buch: Die Physik in der Medicin[1]). Weiteres behalte ich der Veröffentlichung in Fachschriften vor, weil bei jetziger Gelegenheit Zeit und Raum zu beschränkt sind. Ich untersuchte im Winter 1885 kohlenoxydhaltiges Menschenblut und fand dessen reaktives Verhalten gegen Schwefel-Ammonium sehr klar, die Verschiebung der Absorptionsstreifen zum Grün[2]) aber schwach ausgeprägt; hieraus schließend, daß die Entmischung jener vergifteten Flüssigkeit äußerst rasch eintrete. — Am Chlorophyll verglich ich in diesem Sommer eingehend und ausführlich die Absorptions-Phänomene der ätherischen und alkoholigen Lösung aus Blättern der Roßkastanie. Jene gab ein prachtvolles Spektrum mit Streifen in Roth, Orange, Gelbgrün, Grünblau; von denen im zweiten Extract nur der erste (indeß verbreitert) und letzte standhielt.

81. Lommels[3]) theoretisch höchst ansprechende Verlegung des durch Vermittlung des Chlorophyll geschehenden Haupteinflusses vom Lichte ins Roth zwischen B und C, wo durch die Lösung jenes die kräftigste Absorption statthat, dazu schon ein relativ hoher Werth der Spektralwärmecurve erreicht ist, fand viele Anfechtung. Pfeffer's[4]) botanisch-optische Versuche verlegen die Maximalwirkung ins hellste Gelb; Timirjaseff's Untersuchungen[5]), bei denen der Quotient der hinter einer Absorptionsflüssigkeit zerlegten Kohlensäuremenge durch die Ausdehnung des durchgelassenen Spektralbezirkes maßgebend ist, an die wärmste Region. Nicht die Schnelligkeit, sondern eine große Amplitude der Schwingungen zerfällt am stärksten die

---

[1]) Versuch einer organischen Naturlehre. Stuttgart, 1875. Ferd. Enke. XII. 786. Mit 46 Fig. — [2]) H. W. Vogel, praktische Spektral-Analyse, S. 326. Berlin, Oppenheim (Nördlingen, Beck, 1877). — [3]) An. d. Physik. 1871. CXLIII. (219.) S. 568—585. — [4]) An. d. Physik. 1873. CXLVIII. (224.) S. 86—99. — Arb. am botan. Inst. in Würzburg. 1871. (I. III.) — [5]) Botan. Zeitg. XXVII. 885. (Modificirtes Chlorophyll durch Reduction des frischen.) Comptes rendus C. 851.

Chlorophyll-Moleküle. Baranetzky und Prillieux[1]) dagegen binden den Effect an den photometrischen Werth.

82. Die H. H. Gerland und Rauwenhoff[2]) in Leiden sahen in dem durch frische Blätter gegangenen Lichte alle Absorptionsstreifen des gelösten Chlorophylls, doch zuweilen wenig deutlich und bei beginnender Welkung so gut wie verschwindend. Geschieht diese schnell durch künstliche Wärme-Einwirkung, so treten, wenigstens vorübergehend, die Linien schärfer heraus; verläuft sie naturgemäß bis zum Gelbwerden, so entfällt allmählich die optische Chlorophyllreaktion. Die beim Bleichen oder Verfärben des Blattgrün verschwindenden Lichtwellen werden wohl weniger thermale, als chemische Verwendung finden. Die chromatische Umwandlung des Chlorophyll kann in allen Strahlen erfolgen, welche durch, einige Millimeter dicke, Schichten absorbirt werden. — Verschiebungen der Absorptionsstreifen im Lichte grüner Blätter gegen Roth hin scheinen anzudeuten, daß das Chlorophyll mit einem Stoffe gemischt sei, welcher vornehmlich Violet absorbirt, vielleicht dem Protoplasma, das von stark brechbaren Aetherwellen zu molekularen Bewegungen veranlaßt wird. — Bezüglich der physiologisch-botanischen Beziehungen des Chlorophylls äußern die Forscher die Vermuthung, dasselbe dürfe als Produkt der pflanzlichen Assimilation gelten, weil seine Bildung auch im gelben, zur Maximalthätigkeit im Leben der Gewächse berufenen, Lichte gelingt, während es gerade durch die absorbirten Lichtarten zerstört oder entfärbt wird. — Nachdem Herr Pfeffer[3]) durch fernere Versuche an der Wasserpest (**Elodea canadensis**) mittels der Zählungs-Methode aufsteigender Gasblasen deren relative Menge gefunden hatte für Roth 25.4, Orange 63, Gelb 100, Grün 37.2, Blau 22.1, Indigo 13.5, Violet 7.5, wiederholt er den Schluß, „daß die verhältnißmäßige Zersetzungskraft der verschieden brechbaren Strahlen im Allgemeinen der Helligkeit entspricht, mit welcher uns die betreffenden Bezirke des Spektrums erscheinen"; betonend, daß beim subjektiven Charakter der Lichtempfindung die gelbe Farbe natürlich nicht deshalb am meisten Kohlensäure zersetzt, weil sie am hellsten scheint, sondern weil ihre Schwingungsdauer zur erschütternden Erregung der betroffenen Molekularbestandtheile im mechanisch günstigsten

[1]) Botan. Zeitg. 1871. S. 193. — An. des sc. nat. V. Sér. T. X. — [2]) Archives Néerlandaises VI. — An. d. Physik. 1871. CXLIII. (219.) S. 231. 585. — 1873. CXLVIII. (224.) S. 99. — [3]) Ges. für Gesammt-Natw. in Marburg.

Verhältniß steht. — Herr E. Gerland constatirt, daß die bei Spektralfarben von Pfeffer erhaltene Zersetzungscurve viel genauer mit derjenigen der Helligkeit wie der aus Draper's Versuchen[1]) hergeleiteten übereinstimmt, als die durch farbige Lösungen gewonnene. Dagegen sei seine Angabe, daß hinter Chlorophylllösung aufgestellte Blätter wenig Kohlensäure zerlegen, ebenso wenig maßgebend, als H. Müllers[2]) für die Wirksamkeit der Chlorophyllabsorbenzstrahlen eintretende Beobachtung. Auch gegen H. Lommel's[3]) und H. Bert's[4]) Versuche mit farbigen Glasplatten ist neben Anderem einzuwenden, daß diese, höchstens mit Ausnahme des rothen, nicht monochromatisch seien. H. G. findet, daß hinter Chlorophylllösung wachsende Pflanzen unter besseren Bedingungen stehen, als im Dunkel.

83. Die Zerlegung des Chlorophylles im Lichte, zu obigen Fragen in engem Bezuge stehend, behandelte neben anderen Forschern, unter denen H. Sachs[5]) die gelbleuchtenden Strahlen besonders wirksam fand, H. Julius Wiesner in Wien[6]). Zuvörderst wird gegen Lommel geltend gemacht, daß die Absorptionsstreifen im Chlorophyllspektrum nichts aussagen über das bei der physiologischen Assimilation von Kohlensäure und Wasser betheiligte Licht, sondern bloß diejenigen Aetherwellen bezeichnen, welche bei Mitwirkung des Sauerstoffes das Blattgrün zersetzen. Klare Chlorophylllösung wurde 20^{mm} dick allerseits, wo Licht zudringen konnte, mit fünferlei flüssigen Hüllen umgeben: durch oxalsauren Kalk weißgetrübtem Wasser, gelbem doppelchromsaurem Kali, grünem ätherischen Chlorophyllextrakt, rothem Aesculorceïn, blauem Kupfervitriol-Ammoniak. Die Zeiten, binnen welcher die Verfärbung des eingeschlossenen Chlorophyll eintrat, sind neben Weiß stets am kürzesten im Gelb, was für Herrn Sachs spricht. Alle sichtbaren Farben des Lichtes können die physiologisch-botanischen Acte hervorrufen, die hellsten am kräftigsten. Die mechanischen Wirkungen des Lichtes aber erscheinen vornehmlich an die brechbareren Aetherwellen gebunden. — Die letzteren zerlegen auch am schnellsten und vollständigsten eine Substanz, welche, an sich in gelben Pflanzentheilen vorkommend, erhalten wird durch Schüt-

---

[1]) Philosophical Magz. 1843. XXIII. 161. — 1844. XXV. 169. — [2]) Botan. Untersuchungen 1872. I. 19 (Heidelberg). — [3]) Oekonom. Fortschr. 1872. — [4]) Comptes rendus. 1871. LXXIII. — [5]) Botan. Zeitg. 1864. S. 362. — [6]) An. d. Physik. 1874. CLII. (228.) S. 496. — CLIII. (229.) S. 622. — Pflanz. physlg. Inst. d. Wiener Univ. I. — Sitzb. d. Akad. d. W. LXIX. 1.

teln des Chlorophyll-Alkoholextraktes mit Schwefelkohlenstoff oder Benzol. Nach Diffusion des Blattgrün bleibt Xanthophyll zurück, nur bei abgeschlossener Luft unveränderlich, durch deren Zutritt aber im Lichte entfärbt. Diese Zersetzung hält von farbigen Lösungen am wenigsten auf: schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak; dieselbe erfolgt hinter Aesculorceïn achtmal langsamer. — Die eigentlichen Assimilationsvorgänge verlegt H. W. nicht ins Chlorophyll, sondern in das bloß peripherisch von jenem gefärbte Protoplasma. — Herr E. v. Benkowich aus Ungarn[1]) hielt früher die kurzen Lichtwellen dem Einfluß der längeren auf die Pflanzenzelle hinderlich. Diese Gegenwirkung zu mäßigen, sei Hauptaufgabe des Chlorophyll. Dasselbe umgibt schützend die Schauplätze der Assimilations-Acte und verwandelt vielleicht durch Fluorescenz die störenden Strahlen in besser wirksame; Jene hält in manchen Pflanzen (**fagus sanguinea**) rother Farbstoff ab, von anderen, in der Tiefe lebenden, eine dicke Wasserschicht. Diese Erwägungen entstanden aus allgemeinerem Anlaß, indem das Studium der Morichini-Sommerville'schen magnetischen, dann der chemischen Lichtwirkungen die Ansicht erweckte, die molekularmechanische Umwandlung der Aetherwellen geschehe erst, nachdem vom Einfluß der Massentheilchen die chromatische Scheidung jener in, zu solchen Acten geeignete und durch Absorption oder Zurückwerfung beseitigte, Schwingungen ausgeführt wurde. — Jüngst fand H. Reinke[2]) in genauen Versuchen die Zerstörung des Chlorophyll vom Maße der Absorption abhängig. Dasselbe überträgt vermuthlich die Sonnen-Energie auf farbloses Protoplasma und Kohlensäure; indem die, unter den absorbirten Lichtwellen schwingenden, Chlorophyll-Atome chemisch aktiv werden.

VIII. Atomistische Beziehungen der elektromagnetischen Lichttheorie.

84. Die große Übereinstimmung der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit für Licht und Elektricität gab wohl

[1]) An. d. Physik. 1875. CLIV. (230.) S. 468—473. — [2]) Botan. Zeitg. 1885. XLIII. 5—9. — Naturforscher; Berlin, 1885. XXI. 202. („Sensibilisator" nach Timirjaseff und Engelmann.)

den ersten Anlaß, beiden dasselbe Verbreitungsmittel, den Aether[1]) anzuweisen. Aus den, auf dieser Annahme ruhenden, Rechnungen folgt, daß der optische Brechungs-Quotient n das geometrische Mittel sei zwischen dem Diëlektricitäts-Coëfficienten de und dem Maße der magnetischen Polarisation mp, $n = \sqrt{de \times mp}$. Dies wurde von Boltzmann[2]) an Schwefel, Colophonium, Paraffin, Hartgummi untersucht. Weitere Folge der Theorie, daß Licht, Wärme, Elektricität, Magnetismus verschiedene Kundgebungen gleichartiger, wahrscheinlich schwingender Veränderungen in der nämlichen Substanz seien, wäre, daß durchsichtige Körper die Elektricität nicht leiten, weil beide die betreffenden physikalischen Vorgänge wenig alteriren, während absorbirende Stoffe Licht wie elektrische Strömung großentheils vernichten oder in andere Molekularacte umwandeln. Vollkommene Übereinstimmung ist hierin nicht zu erwarten, und besonders spielen die Elektrolyte eine eigenthümliche Rolle. Der Wärme gegenüber findet Herr J. Fröhlich in Budapest[3]), ausgehend von den Formeln Maxwells[4]): $\nabla^2 F = -4\pi m C \times dF/dt$, $m = 1 + 4\pi k$ (worin F eine Componente der elektromagnetischen Störung, C die elektrische Leitfähigkeit, k die Magnetisirungs-Constante) und Fouriers: $\nabla^2 F = -1/\gamma \times dF/dt$ (F Temperatur eines beliebigen Punktes am Körper, γ dessen thermometrisches Leitungsvermögen) $4\pi m C = 1/\gamma$; und des Weiteren unter Benützung empirischer Angaben der Herren Wiedemann und Franz[5]), daß „die Anwendung der elektromagnetischen Lichttheorie auf gute elektrische Leiter zu Resultaten führt, die mit der Erfahrung in directem Widerspruche stehen“. — Doch dürften die Vorgänge in metallischen Leitern viel verwickelter und umständlicher sein, als in durchsichtigen Isolatoren, so daß höchstens eine Modification der Theorie wünschenswerth erscheint, welcher unter Anderem auch die Untersuchungen der H. H. E. Root[6]), P. Silow[7]), N. Schiller[8]) äußerst günstig erscheinen. Höchst wichtig für dieselbe ist die Darlegung von H. v. Helmholtz[9]), daß durch Übertragung der empirisch festgestellten Eigenschaften

[1]) Phils. Transact. Vol. 155. part. 1. p. 459. — [2]) Wien. Ber. LXVII. 1874. (An d. Phys. CLI. 482. 531.) — [3]) An. d. Physik. 1877. CLX. (236.) S. 97. — [4]) A treatise on electricity and magnetism. Oxford. II. p. 396. — [5]) An. d. Physik. 1853. LXXXIX. (165.) S. 497 bis 531. — [6]) An. d. Physik. 1876. CLVIII. (234.) S. 1. 425. — [7]) An. d. Physik. 1875. CLVI. (232.) S. 389. — 1876. CLVIII. (234.) S. 306. — [8]) An. d. Physik. 1875. CLV. (231.) S. 467. — 1876. CLIX. (235.) S. 456. 537. — [9]) Die Bewegungsgleichungen der Elektricität.

der elektrischen Medien auf den hypothetisch als starr-elastisch angenommenen Lichtäther Brechungs- und Reflex-Phänomene an Grenzflächen durchsichtiger Körper für Theorie wie Erfahrung in klarer Harmonie erscheinen. Nicht weniger bedeutsam sind Herrn Kundt's[1]) Nachweise der Drehung des polarisirten Lichtstrahles in festen Körpern von genügender Dünne, ja sogar durch Zurückwerfung an der polirten Polfläche eines Elektromagnets. Danach wirkt die Elektricität nicht direct auf den Aether, sondern durch Vermittlung der wägbaren Moleküle. Bloß solche Metalle nämlich drehen in obigem Sinne, deren Massentheilchen im magnetischen Kraftgebiete gerichtet, oder elektrisch polarisirt werden. Die rothen Wellen erfahren die stärkste Einwirkung, welche für die mittleren Spektralstrahlen in Eisen 30000, in Nikel 14000 mal kräftiger ist, als bei gleich dickem Glase. — (Vergleiche auch E. Ketteler: Die optischen Constanten magnetischer Medien[2]) und G. F. Fitzgerald[3]).

85. Während der zuletzt genannte Forscher, im Hinblick auf H. J. Kerr's[4]) Versuche, den am Magnetpol reflektirten Strahl als Resultante aller Zurückwerfungen in einer dünnen Grenzschicht[5]) betrachtet, die als magnetische Oberfläche die Polarisations-Ebene stark dreht aus derjenigen des einfallenden Lichtes, schreibt H. v. Fleischl[6]) dem magnetischen Einfluß eine Deformation der Lichtwellenfläche zu. (Cornu (C. R. XCIX.) setzt dafür: „Theilung" der Kreisschwingungen.) Die optische Wirkung des Magnetfeldes ist dadurch charakterisirt, daß die Drehungsrichtung der Polarisations-Ebene nicht abhängt vom Qualitätszeichen der Fortschrittsrichtung des Lichtes, was der desfallsigen Molekularwirksamkeit anisotroper Substanzen zuwiderläuft. In diesen stehen Doppelbrechung und Drehvermögen im engsten Zusammenhang. Dort sollte die Lichtwellenfläche[7]) mittels eines stetigen Vorganges bei steigender magnetischer Intensität herleitbar sein. Zu einer ersten Annäherung kam Verdet's[8]) Cosinus-Gesetz. Genauer „ist die Gestalt der Licht-

[1]) Ber. d. Akad. d. Wiss. in Berlin 1885. — [2]) An. d. Physik. 1885. XXIV. (260.) S. 119. — [3]) Proc. Roy. of the Lond. Soc. 1876. XXV. 447; 1880. II. 691. (An. d. Physik. 1885. XXV. (261.) S. 136.) — [4]) On reflection of polarized light from the equatorial surface of a magnet. Phil. Magz. (5.) 1878. V. 161–177. — [5]) S. auch: W. Voigt, d. opt. Eigenschaften sehr dünner Metallschichten. An d. Physik. 1885. XXV. (261.) 95. — [6]) Wien. Akad. XC. (2. Abth.) 1884. (18. Decb.) Anzeiger Nr. 13. Exner, Repertor. d. Physik. 1885. XXI. 252—266. — [7]) Hamilton's „surface of wave slowness". — [8]) Comptes rendus, 1854. XXXIX. 548. — 1855. XLIII. 37.

wellenoberfläche im magnetischen Felde eine aus zwei Rotations-ellipsoiden, die in der Richtung ihrer großen Achse so gegeneinander verschoben sind, daß sie größtentheils ineinander liegen, bestehende Doppelfläche". — Dies steht indeß nach H. K. Exner[1]) mit einem Satze Cornu's im Widerspruch. — Letzterer[2]) hält eine eigenthümliche Doppelbrechung in der zu den magnetischen Kraftlinien senkrechten Richtung für wahrscheinlich, indem ein links und ein rechts circular polarisirter Strahl an den Polen reflectirt würde. — Die von Thomsen empirisch hergeleitete Molekularbewegung im magnetischen Felde gehorcht den Helmholtz'schen Wirbelgesetzen, wobei optische und magnetische Verschiebungen der Theilchen combinirt werden können. In Maxwells (Phil. Mag. (4) XXI. 166.) magnetischer Inductions-Constante $M = 4\pi C_2 \varrho$ ist die interatomistische Aetherdichte ϱ[3]) ersetzbar durch si (i Brechungsindex). C hängt von Vertheilung, Gestalt und Geschwindigkeitsform der Wirbel ab und ist für Kreisrotationen in Luft $^1/_4$; demnach $M = \pi\, si^2$. Maxwells (Phil. Mag. (4) XXIII. 95) Drehungsformel der Polarisations-Ebene reducirt sich auf $mi\, ^3/\lambda^2$, wo λ die Lichtwellenlänge im freien Aether, und das von Eigenschaften des Mittels wie der Wirbel abhängige $m = 2\pi\, ^3/^2\, Cr/s\, ^1/^2\, V$ (s Dichte des freien Aether, V die Lichtgeschwindigkeit darin). Der Magnetismus des Eisens (Nickel und Kobalt) scheint gebunden an, oder doch verbunden mit großen Molekularwirbeln. In diesen nahm Maxwell für den Aether eine entgegengesetzte Drehung an, als für die Eisenmolekel. Kundt zeigte an letzteren selbst positive Drehung. Es scheint, „daß im Eisen die Moleküle, resp. ihr Aether, als Ganzes wirbeln". Auf Wasser bezogen, wird der Radius der Eisenmolekularwirbel = 3000 gesetzt, absolut = $0.95/10^8$ cm, und daraus die Aetherdichte $< 9/10,^{16} > 1/10^{18}$; also im Mittel $1/10^{17}$. Ein Aether-Körper von 1 gr Gewicht faßt rund 100000 Millionen cubm; die Luft aber erreicht schon in 33 Mln. Höhe eine damit nahe übereinstimmende Dichte. — Die Unabhängigkeit der Absorptionsfähigkeit wägbarer Körper von der Lichtintensität fließt aus Folgendem. Aus der Lichtfortpflanzung der Vibrirgeschwindigkeit der Aetheratome und ihrer Verschiebung im polarisirten Strahl wird die Amplitude des Sonnenlichtes an der Erde berechnet $\overline{>}\, 6/10^{10}$ cm, also höchstens 100 fach kleiner als Molekularabstand wie Molekelgröße ($< 1/10^8$)

[1]) Chemphys. Gs. in Wien. 27. Jan. 1885. — [2]) C. R. 1884. XCIX. 1045. — [3]) L. Graetz. An. d. Physik. 1885. XXV. (261.) 165.

fester und flüssiger Stoffe. Erst bei mehr als 2000 maliger Verstärkung des Sonnenlichtes erlitten die Absorptivvorgänge mit ihren Folgen, besonders der Durchsichtigkeit, bei irdischen Substanzen erhebliche Aenderung. — Ächt molekulare Beziehungen des Zusammenhanges von Licht und Elektricität behandelt endlich H. Grinwis[1]), welcher, von Differentialgleichungen elektrischer Wellen ausgehend und die elektrostatische Potential-Energie vergleichend, mit elektromagnetischer aktueller Energie die Isolatoren für durchsichtig erklärt, während absolut gute Leiter das Licht absorbiren, und dessen Gesammt-Energie in elektrische Strömung verwandeln.

86. Die Beziehung zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes und der Körperdichte betrachtet H. X. A. Lorentz[2]) im Hinblick auf Maxwells elektromagnetoptische Theorie. Zur Vorstellung, daß zwischen den Massentheilchen Aether gelagert sei, kommt die Hypothese, die Eigenschaften desselben wichen höchstens dicht an den Molekülen von denen im vacuum ab. Neu ist die Annahme, jedes Molekül besitze ein, von elektromotorischer Kraft hervorgerufenes, ihr proportionales und gleichgerichtetes elektrisches Moment, das für beliebige, auch kleinste, Entfernungen nach Coulombs Gesetz wirkt. Das specifische Induktionsvermögen eines Isolators setzt Maxwell[3]) $K = n^2$, wobei indeß ein vollkommen homogenes Medium angenommen ist. Um mit Benützung jener Gleichung die Relation zwischen Brechung n und Dichte d $C = (n^2 - 1) : ((n^2 + 2) d)$ auch für molekulare Constitutionen herzuleiten, werden die elektrischen Bewegungen sowohl im Aether, als in den Molekülen betrachtet. Um jedes der sehr zahlreich mit isotroper Anordnung im Aether gelagerten Moleküle sei eine dünne Kugelhülle gelegt, außerhalb deren der Aether wie in der Luftleere sich verhält, während der Stoff im Innern durch ein Centralatom ersetzt werden kann. Für jedes Theilchen herrschen zwischen den Componenten x, y, z der elektromotorischen Kraft und denen m_x, m_y, m_z des inducirten elektrischen Momentes, die Beziehungen $m_x = kX$, $m_y = kY$, $m_z = kZ$, worin k von der molekularen Beschaffenheit abhängt. Die in den Mole-

[1]) On light-absorption according to Maxwell's theory. (Beibl. 1885. IX. 273—275. (Lo.) Phil. Magz. (5.) N. 313. — Ach. néerl. 1877. XII. 177. — [2]) Verhandelingen d. Akad. v. Wet. te Amsterdam. Deel XVIII. 1880. (An. d. Physik. IX. 641.) — [3]) J. J. Thomsen : Maxwell, Theory of light; Phil. Magz. (5.) IX. 284—292. Maxwell, Treatise on Electricity and Magnetism. II. (Oxford.)

külen erwachenden elektrischen Bewegungen verbreiten sich im Aether unter punktuellen dielektrischen Polarisationen, deren Componenten x, y, z mit der Dielektricität-Constante des Aether l_0 und der elektromotorischen Kraft in den Formen verbunden sind $x, = l_0 X$, $y, = l_0 Y$, $z, = l_0 Z$. Daraus sind partielle Differentialgleichungen [1]) herstellbar, welche x, y, z, mit der Zeit t in Zusammenhang bringen. Besteht am Theilchen P mitten in der sphärischen Wölbung K längs der I. Coordinaten-Achse das elektrische Moment $m_x = f_1(t)$, so wirkt das Molekül sowohl elektrostatisch, als gleich einem veränderlichen Strom-Element dm_x/dt in I. Achsenrichtung. Der motorische Zustand des Aether besteht in einem transversalen und longitudinalem Theil, deren erster den Gleichungen genügt $dx,/dI + dy,/dII + dz,/dIII = o$ (I, II, III: Coordinaten-Achsen) $\triangle x, = 1/v_0^2 \times d^2x,/dt^2$, $\triangle y, = 1/v_0^2 \times d^2y,/dt^2$, $\triangle z, = 1/v_0^2 \times d^2z,/dt^2$, worin $\triangle = d^2/dI^2 + d^2/dII^2 + d^2/dIII^2$; v_0 die Leitung transversaler elektrischer Schwingungen im Aether, also die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Daraus folgen die Lösungen (A: $x, = -a(d^2/dII^2 + d^2/dIII^2)(1/r \times f_1(t - r/v_0))$, (r Abstand von P, a Constante)

$$y, = a d^2/dI\,dII(1/r \times f_1(t - r/v_0)),$$
$$z, = a d^2/dI\,dIII(1/r \times f_1(t - r/v_0)).$$

Für die Longitudinalbewegung hat man die Lösung (B mit b constant: $x, = b d^2/dI^2(1/r \times f_1(t - r/V))$, $y, = bd^2/dI\,dII(1/r \times f_1(t - r/V))$, $z, = bd^2(dI\,dIII(1/r \times f_1(t - r/V))$. Dem Momente $m_x = f_1(t)$ analog hat das Theilchen P solche in den Achsenrichtungen II, III, welche ebenfalls elektrische Bewegungen im Aether erregen. Alle anderen Moleküle verhalten sich gleich. Dann erscheinen die elektrischen Momente als Funktionen von Zeit und Ort. Zum Beweis wird aus (A. die elektromotorische Kraft für jeden Raumpunkt außerhalb k berechnet als zusammengesetzt aus drei Theilen; des ersten Componenten sind $x,/l_0$, $y,/l_0$, $z,/l_0$; der zweite gleicht der elektrostatischen Kraft, herrührend von einem in P liegenden, der I. Achse parallelen elektrischen Moment M; der dritte stimmt mit dem Werthe der Induktion überein, welche von einem ähnlich gelegenen Stromelemente S geübt wird. Nach mehreren, hier zu umfangreichen, Erwägungen wird erhalten $M = -a(8\pi/3 + 1/l_0)m_x$,

$$S = -a.8/3.\pi.(dm_x/dt). \text{ Ähnlich für}$$
$$\text{(B. } +b(8/3.\pi + 1/l_0)m_x, \quad -b.4/3.\pi.(dm_x/dt).$$

---

[1]) Crelles math. Journal. Bd. 72. (v. Helmholtz.)

Die im Centrum von K durch (A. und (B. hervorgerufene elektromotorische Kraft hat den Werth $(a+b) . 8/3 . \pi . m_x / \varrho^3$ (ϱ Radius von K). Gehen von jedem Molekül mit den Momenten m_x, m_y, m_z Bewegungen in den Aether hinaus über den ganzen Raum außerhalb K, so bestünde in dieser Molekularsphäre eine dielektrische Polarisation, an der jedes andere Molekül mitwirkt. Dieselbe hat bei genügender Kleinheit von ϱ auf der ganzen Kugel gleiche Richtung wie Größe. Sie bleibt, als innerhalb der Kugel liegend, fort bei Betrachtung der wirklich im Aether verlaufenden Bewegungen. Man kommt mittels ihrer zu den Gleichungen $m_x = (a+b)(8/3 . \pi + 1/l_0) m_x + 4/3 . \pi \varrho^3 x,^1$
$= k((a+b) 8/3 . \pi . m_x / \varrho^3 + x,^1 / l_0 + 4/3 \; \pi . x,^1)$
$dm_x/dt = (2a-b) . 4/3 . \pi . dm_x/dt + 4/3 . \pi \varrho^3 . dx,^1/dt$, welche der Fortpflanzung transversaler Schwingungen entsprechen. — Die elektrischen Momente variiren während der Lichtbewegung sehr langsam von Molekül zu Molekül, wenn deren Abstände klein sind gegenüber den Wellenlängen. Ob die Moleküle isotrop oder regulärkrystallinisch, also nach drei senkrechtgekreuzten Richtungen übereinstimmend gelagert sind, jedenfalls kann in einer um P geschlagenen Kugel S die Anzahl der Theilchen Q klein genug erhalten werden, daß für alle die elektrischen Momente von gleichem Werthe sind, und $\Sigma x^1,,(q)$ über diese Theilchen ausgedehnt verschwindet, außerhalb S aber für die übrigen Moleküle durch ein Integral ersetzt werden darf. Auf die Molekülzahl p in der Raum-Einheit bezogen, ist

$$x^1,, = a p \, dJ_1 / dx' - a p J_2$$

wo $J_1 = \int\!\!\int\!\!\int (d/dx' (1/r f_1 (I \; II \; III \; t - r/v_0)) + d/dy' (1/r f_2 (I \; II \; III \; t - r/v_0)) + d/dz' (1/r f_3 (I \; II \; III \; t - r/v_0))) dI \, dII \, dIII$

$$J_2 = \int\!\!\int\!\!\int \triangle' (1/r f_1 (I, II, III, t - r/v_0)) \, dI \, dII \, dz \, III.$$

Die Auffindung von diesen Integral-Ausdrücken kann hier bloß in den Resultaten gegeben werden, nämlich
$dJ_1/dx' = 4/3 . \pi . m_x$, $J_2 = -4\pi m_x / (n^2 - 1)$. Damit erhält man die Constanten $a = (4\pi l_0 (1 - \varrho^3/k) \times 3/12\pi$, $b = -a/(1+4\pi l_0)$. — l_0 hat in der elektromagnetischen Lichttheorie einen so großen Werth, daß $1/l_0$ ein vernachlässigbarer Bruch ist. Dann fließt aus der Formel für b, daß die Längswellen im Aether viel schwächer, als die Transversalschwingungen sind. Wird gesetzt $k, = (4/3 . \pi \varrho^3) m \times ((3 + 4\pi l_0 - 4\pi l_0 . \varrho^3/k) / ((3 + 8\pi l_0) \varrho^3 / k - 8\pi l_0))$, (m Molekülmasse), so kommt nach einigen Kürzungen $k, = (n^2 - 1)/((n^2 + 2) d)$, welcher Ausdruck constant bleibt, wenn bei ungeänderten Molekülen die Körperdichte variirt. — Werden

mehrere Arten von Molekeln zugelassen, so handelt es sich um die Lichtbrechung in einer Mischung, zwischen deren Constanten die Beziehung herrscht $(n^2 - 1) / (n^2 + 2) d = a_1 (n_1^2 - 1) / (n_1^2 + 2) d_1 + a_2 (n_2^2 - 1) / (n_2^2 + 2) d_2 + \ldots$, worin a_1, a_2 2c. die in der Gewichteinheit vorhandenen Mengen der Bestandtheile bedeuten. — Die Voraussetzung, daß die elektrischen Momente der Nachbar-Moleküle gleich sind, wird nicht stets streng erfüllt. Wird die Verschiedenheit der Momente benachbarter Theilchen berücksichtigt, und ihr Abstand mit δ bezeichnet, so erwachsen für $x,^1$, $y,^1$, $z,^1$ Correctionen von der Ordnung $(\delta / l)^2$ im Vergleich zu den Werthen. Die besonderen Brechungs-Exponenten n weichen dann von dem allgemeinen für unendlich lange Wellen giltigen n_0 ab, insofern sie Funktionen der Wellenlängen werden; der Unterschied ist aber gering und tritt für $\delta = 0.0000025^{mm}$ [1]) bei Ultraviolet erst in der vierten Decimale auf. Wollte aus der hiemit zugelassenen molekularen Discontinuität die chromatische Dispersion erklärt werden, so müßte man den Einfluß der unstetigen Raumerfüllung durch die Annahme steigern, daß die elektrischen Kräfte auf Molekularentfernung in anderer Weise agiren, als bei meßbaren Abständen. Besser dürfte indeß sein, die intern-atomistische Beschaffenheit der Moleküle für die Farbenzerstreuung in Anspruch zu nehmen. Ist von vielen Stoffpunkten eines Massentheilchens einer mit der elektrischen Ladung E aus dem Gleichgewicht gebracht, so daß der Verschiebungs-Betrag in den Coordinatenachsen I, II, III ausgedrückt wird, und kommt einerseits in Betracht der Einfluß der übrigen Atome: — c . I, — c . II, — c . III; andererseits die elektromotorische Kraft x, y, z, so stehen die Gleichungen $I = x . l / c$, $II = y . l / c$, $III = z . l / c$; die Componenten des elektrischen Momentes sind kx, ky, kz; $k = l^2 / c$. Ist dagegen jener materielle Punkt von der Masse m oscillatorisch bewegt mit der Schwingungsdauer t, so wird $k = l^2 / (c - 4 \pi^2 m / t^2)$, nimmt also mit wachsender Zeit ab. Die vorausgesetzte molekulare Structur ist allerdings hypothetisch und kann diese weit complicirter sein. Die Beziehungen zwischen Brechung und Dichte werden jedoch nicht alterirt. — Die empirische Prüfung der Theorien geschah mittels H. Wüllner's Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die Lichtbrechung in Flüssigkeiten, wie H. Jamin's

[1]) H. van der Waals; die mittlere Entfernung der Gasmoleküle bei 0° und 760^{mm}.

Beobachtungen über Änderung des Brechungsindex im Wasser bei dessen Zusammendrückung. Positive Abweichungen scheinen bloß bis zu einem bestimmten Wärmegrad vorzukommen. Vielleicht tritt bei Temperaturerhöhung eine solche Aenderung der Wassermoleküle ein, daß **k** abnimmt. Negative Abweichungen sind häufiger und werden größer bei festen Körpern, z. B. dem Flußspat, dessen Brechungsindex bei Erwärmung abnimmt. Bei Kronglas findet letzteres für längere Wellen statt, für kürzere das Gegentheil. — In Gasen gehen die Abweichungen im Allgemeinen nach derselben Richtung, wie an flüssigen und festen Körpern. Ihr übereinstimmender Gang kann hergeleitet werden aus Molekularveränderungen, aus dem Einfluß der Atome auf die Eigenschaften des Aethers, aus mit den Abständen zusammenhängenden Modificationen der elektrischen Wirkung, vielleicht auch aus einer Combination dieser Umstände — jedenfalls sind deutliche Anzeigen gegeben, daß die Atomenlehre bei diesen Erscheinungen ein entscheidendes Wort mitspricht. Dasselbe wird um so gewichtiger sich herausstellen, wenn die Beziehung zwischen Lichtbrechung und chemischer Constitution in Betracht kommt, wovon im nächsten Abschnitt die Rede sein soll. Die Refraktionsverhältnisse der Mischungen, bezogen auf deren Bestandtheile, und diejenigen der aus letzteren entstandenen chemischen Verbindungen können unter ähnlichen Gesichts-Punkten betrachtet werden, sofern in jedem Moleküle einer Mischung, wie in jeglichem Atome einer Verbindung ein elektrisches Moment erregt wird.

IX. Molekular-Refraktion.

87. Die Versuche, die Lichtbrechung mit der Molekularbeschaffenheit der Körper in Bezug zu setzen, treten mehrfach auf. H. L. Lorenz[1]) will die Brechung von der Dispersion befreien und zur Dichte der Körper in solche Beziehung bringen, daß bei Änderungen derselben jedoch ohne Alteration der Moleküle eine Refraktions-Constante darstellbar ist. Vorausgesetzt wird, daß das Licht in den Intermolekularräumen mit derselben Geschwindigkeit weiter geht wie im **vacuum**. Der Körper sei isotrop und jedes Molekel sphärisch.

[1]) Experimentale og theoretiske Undersoegelser over Legemerness Brydningsforhololđ. Vidensk. Selsk. Skrifter. (5.) 1869. VIII. 205. — 1875. X. 485. (An. d. Physik. XI. 70.)

Über die Lichtbrechung der Moleküle wird keine bestimmte Annahme gemacht. — Als Refraktions-Constante wird erhalten $(A^2 - 1) / (A^2 + 2) \times v$, wenn bei Volumenänderung des Körpers mit oder ohne Temperaturmodification der molekulare Brechungsexponent A_i wie das molekulare Volumen v_i ungeändert bleiben. — Empirische Forschungen über die Frage, ob der von Dispersion befreite Brechungsindex nicht unmittelbar von der Temperatur, sondern allein von der Dichte abhängt, knüpfen an bei Jamin's auf das Wasser angewandter Interferenz-Methode [1]) und erstrecken sich des Weiteren auf Dämpfe wie Gase bei Siedehitze des Wassers. Die unmittelbar den Versuchen entnommene Größe $(n_{Na} - 1)\ v = v\ s_{Na} \times l_{Na} / L = 0.0034325\ s_{Na}$ (L Abstand zweier Glasplatten, l_{Na} Wellenlänge des gelben Natrium-Streifen im vacuum, s_{Na} Anzahl der gelben Streifen, am Fernrohrfaden vorüberwandelnd, während der Brechungsindex der beobachteten Gase bis n_{Na} steigt, v das Volumen) blieb constant. Untersucht wurden atmosphärische Luft, Sauerstoff, Wasserstoff, Aethyläther und Aethylalkohol, Wasserdampf, Chloroform, Aethyljodid, Aethylacetat, Schwefelkohlenstoff. Selbst bei den großen Dichtigkeitsänderungen, welche den Wechsel des Aggregatzustandes begleiten, beträgt die Maximal-Abweichung der Constanz des Refraktionsindex nur 5proc. Auch die Dispersion erweist sich höchst constant. Treten jedoch chemischatomistische Änderungen der Moleküle ein, so können die Refraktionswerthe verkleinert oder vergrößert werden. Einschlägige Beobachtungen von Dulong wurden durch Mascart bestätigt, vornehmlich betreffs zweier Verbindungsstufen von Stickstoff und Sauerstoff, welche mit Wärmeabsorption verknüpft sind. Hier wird die Refraktions-Constante verkleinert; vergrößert dagegen bei dem mit Wärme-Entwicklung verbundenem Zusammentritt von 3 gr. Wasserstoff und 14 gr. Stickstoff. Daraus darf indeß Angesichts des Verhaltens vom Ammoniak kein allgemeiner Schluß gezogen werden.

88. Daran reihen sich Experimental-Untersuchungen von H. K. Prytz [2]), welche Herrn Lorenz Refraktions-Constante bestätigen. Schwache Abnahme derselben wurde bei wachsender Dampfdichte gefunden, welche vielleicht durch Dampfcondensirung an den Gefäßwänden veranlaßt war. Für Flüssigkeit und Dampf derselben Substanz waren die Refraktions-Con-

---

[1]) Comptes rendus; 1856. XLIII. 1191. — [2]) An. d. Physik; 1880. XI. (247.) S. 104—120.

stanten nahezu gleich; kleine Änderungen erschienen bei der Gasbildung nicht immer als Vergrößerungen.

89. Das specifische Brechungsvermögen (n—1) d variirt mit der Temperatur nahebei in derselben Weise, wie die Dichte und hängt von der chemischen Beschaffenheit der Körper ab. P (n — 1) / d [1]) wurde als Refraktions-Äquivalent durch Landolt zum Molekulargewicht der Stoffe in Beziehung gesetzt. Brühl nennt jenen Werth: Molekularrefraktion (MR). Mittels rechnerischer Benützung der Beobachtungen letzter Forscher leitet H. Schröder[2]) regelmäßige Beziehungen her zwischen chemischer Zusammensetzung und Molekularrefraktion. Zuerst werden isomere Substanzen geprüft: Säuren und Ester, Alkohole und Aether, Aldehyde und Ketone. Deren Molekularrefraktionen stimmen fast ganz überein. Wenn der hievon ausgehende Versuch, aus der Molekularrefraktion diejenige der verbundenen Atome zu berechnen auf empirisch für letztere bestätigte Ergebnisse bloß theilweise führte, so sind die Abweichungen vielleicht großentheils, wenn nicht ausschließlich, begründet in den durch H. Brühl nachgewiesenen Doppel-Valenzen und mehrfachen Bindungen der Elemente. Indeß bezweifelt H. Schröder überhaupt, daß die Differenz der Molekularrefraktionen für gleiche Zusammensetzungs-Unterschiede constant sei. In um CH_2 fortschreitenden Gliedern homologer Reihen wachsen vielmehr die Unterschiede der Molekularrefraktionen mit dem Atomgewicht, das im Allgemeinen das Maß der Lichtbrechung zu erhöhen scheint. Das Aufgeben obenerwähnter Constanz führt zu bemerkenswerthen Schlüssen: Die Atomgruppen CO und CH_2 haben den nämlichen Einfluß auf die Molekularrefraktion derselben Verbindung, und nahe übereinstimmenden in verschiedenartigen Atomgruppen. Die Einflüsse der Elementaratome einer Verbindung auf deren Molekularrefraktion stehen im einfach ganzzahligem Verhältnisse. Eine sehr schöne Übereinstimmung gibt sich kund zwischen Refraktion und Volumen-Constitution der Körper, für welch' letztere H. Schröder[3]) den Begriff der „Stereneinheit" begründete. Die Elementar-Atome tragen ebenso viele Steren zur Raumerfüllung bei, als zur Molekularrefraktion. Die einwerthig verketteten Atome des C, H, O repräsentiren eine Refraktionsstere, während zwei

[1]) Berthelot setzte dafür P (n^2 — 1) / d. — [2]) Acad. d. W. München. 5. Nov. 1881. An. d. Physik. 1881. XIV. (250.) 656 mit Bezug auf XI. 997. — [3]) Erste Untersuchung über „Volumentheorie": An. d. Physik. 1840. L. (126.) 553. (Mit Bezugnahme u. A. auf Persoz (Chimie moléculaire.)

solche (jede = 2.3—2·4) dem zweivalenten Sauerstoff-Atom zukommen. Die verbundenen Elemente scheinen sich in ihren optischen Wirkungen abzugleichen und ihre gegenseitigen Einflüsse zu accommodiren. — In zweiter Linie sind die ungesättigten Verbindungen der Fettreihe untersucht. Hier harmoniren Refraktions- und Volumen-Constitutionen nicht. Ebenso wenig bei den aromatischen Stoffen. Während in dieser Hinsicht beide Verbindungsreihen übereinstimmen, weichen sie in Folgendem von einander ab. Bei den ungesättigten Fetten wird durch jede Mehrbindung zweier C-Atome die optische Wirkung des verdrängten H so gut ersetzt, daß das Refraktionsmaß nur wenig erniedrigt wird. In den aromatischen Körpern gelingt dieser Ersatz bloß unvollständig. — Die Chemie wurde schon mehrmal in ihren Forschungen erheblich unterstützt durch optische Untersuchungen; namentlich wo feinere Verhältnisse der Molekularstructur für die stoffliche Analyse entscheidend waren. Ich erinnere an die letztere auf prismatisch-spektralem Wege, wie an die Drehungs-Erscheinungen circularpolarisirten Lichtes und ihre Abhängigkeit von der atomistischen Architektonik. Auch hier gibt das Refraktions-Phänomen Aufschlüsse über die chemische Beschaffenheit der Stoffe, und zwar gerade wieder betreffs der Gruppirung der Atome; ob O ein- oder zweiwerthig an C gebunden sei, in welchen Bindungen der letztere erscheint, ob die Molekulargruppe des Benzolkernes vorhanden ist und drgl.

90. Die von H. L. Lorenz gegebene Refraktions-Constante führt zu gleichem Ergebnisse, sogar in noch schärferer Weise. Aus den gesättigten Verbindungen fließen überdies identische Atomrefraktionen des Kohlenstoffs, Wasserstoffs und einwerthig verketteten Sauerstoffes, während in den ungesättigten Verbindungen die mehrfach verketteten Kohlenstoff-Atome die doppelte Atomrefraktion wie die einfachen zeigen. Die Brauchbarkeit der Lorenz'schen Bestimmungen zu fraglichem Zweck zeigte zuerst H. Landolt[1]). H. Schröder[2]) rechnet vergleichend nach beiden Formeln mit der ersten wie zweiten Potenz des Brechungsindex. Er findet vornehmlich, daß das Refraktionsmaß homologer Substanzen mit dem Molekulargewicht zu steigen pflegt. Die Atome äußern demnach keinen constanten Einfluß auf die Molekularrefraktion, sondern derselbe variirt in engen Grenzen mit der Quantität und Qualität der atomistischen Elemente des Mole-

[1]) K. Akad. d. W. Berlin, 19. Jan. 1882. — [2]) An d. Physik. 1883. XVIII. (254.) 148—175.

küles[1]). Die Molekularrefraktionen metamerer Körper stehen bei gleicher Temperatur einander nahe. Wahrscheinlich gibt es für jede Metamerie einen Wärmegrad, bei welchem ihre Molekularrefraktion derjenigen aller Genossen gleich wird. Für die aromatischen Verbindungen mit großer Dispersionskraft läßt sich als deren Maß der, mit abnehmendem Molekulargewicht wachsende, Quotient $M R n_\gamma^2 / M R n_\alpha^2$ hinstellen.

91. Herr E. Wiedemann[2]) gibt der das Quadrat des Brechungsinder enthaltenden Refraktionsformel entschieden den Vorzug über die mit der ersten Potenz. Neben besonderen Schlüssen, welche er seiner Untersuchung des geschwefelten Kohlensäureäther entnimmt, wird im Allgemeinen betont, daß die Molekularrefraktion nur dann als Summe der Atomrefraktionen erscheint, wenn die Aetherhüllen der Atome bei deren Zusammentritt in Molekülgruppen sich durchweg gleich verhalten. Doppelte Bindungen ändern die Atomrefraktionen in Form eines wachsenden Brechungsinder. Vermuthlich tritt hiebei freier Aether in die atomistischen Aetherhüllen, so daß die Atome auseinandergedrängt werden. Ein vergrößertes Molekularvolum wird ja in der That an den ungesättigten Verbindungen gegenüber den gesättigten bestätigt. Je weiter die Lücken zwischen den Atomen werden, desto leichter können neue Atome eintreten, um die molekulare Structur zu ändern. An sich sind vielerlei Anordnungen der Aetherhüllen um die Atome denkbar und bei der reichen Mannigfaltigkeit chemischer Einflüsse wie daran gereihter Vorgänge dürfte weitere Enthüllung derartiger Umlagerungen erwartet werden. Viel kommt auf die größere oder kleinere Intensität des molekularen Gleichgewichtes an, dessen wohl vielfach abgestufte Labilität einerseits den festen Bestand, anderntheils die rasche Zersetzbarkeit der Körper bedingt. Vor der Hand sind bloß zwei bestimmt charakterisirte Formen der Atomrefraktion erkannt, entsprechend zweierlei verschiedenartigen Bindungsarten der Elemente. Dies läßt auf zwei bevorzugte Umhüllungen der Atome mit Aether in ausnehmend stabiler Anordnung schließen. — Fast mehr noch als bei der atomistischen Untersuchung der Dispersion leuchtet auf dem Felde der Molekularrefraktion die ungeheuere Umwälzung hervor, welche die Verbindung optischer und stofflicher Fragen auf beiderlei Gebieten zu doppeltem Heile

---

[1]) Janovsky; Wiener Ber. 1880. LXXXI. 539. (18. März und 11 Juni.) Auch 1878. LXXVIII. — [2]) An. d. Physik. 1882. XVII. (253.) 577—580.

erweckte: die Optik lernt die Schicksale des Lichtes innerhalb der Materie beherrschen; und die Constitution der letzteren wird buchstäblich durchleuchtet von den Strahlen jenes.

92. Die Atomrefraktion des Schwefels fand Herr R. Nasini[1]) zu 14.10 und 16.05 ($R\alpha$) mit der Formel (n–1) d je nachdem er mittels je einer Bindung mit zwei verschiedenen Atomen oder durch zwei Bindungen mit einem Atom verknüpft war. R_A ist beziehentlich 13.53. 15.09, und nach $(n^2-1)/(\pi^2+2)$ d ... $R'_\alpha = 7.87; 9.02$ ... $R'_A = 7.65; 8.84$. — Von obigen Zahlen abweichende, doch unter sich gut übereinstimmende Werthe gab die optischmolekulare Untersuchung von Schwefelsäure- und Schwefeligsäure-Anhydrid wie anderer Verbindungen von S[2]) (z. B. „l'etere etilico dell' acido etilsolfonico", etc.). — Dies paßt nicht zu der HH. Landolt und Brühl Betrachtung der Atomrefraktion als constanter Elementar-Eigenschaft, nur sich ändernd, wenn eine wechselseitig engere Bindung der Atome erfolgt. Der zu Gunsten jener Anomalie aufgestellten Hypothese, der Schwefel erscheine beziehentlich als tetra- oder hexavalentes Atom, entspricht nicht, daß SO_3 und SO_2 gleiche Werthe gibt, $S(C_2H_5)_3J$ aber: 20 als AR_S. Die auf bestimmten Structurformeln ruhenden Anschauungen über Atomverkettung und Valenz dürften wohl den in die Molekulararchitektonik tief eingreifenden Verhältnissen der Atomrefraktion gegenüber keinen allzustarren, sondern einen labileren, natürlich wissenschaftlich gezügelten, Charakter annehmen. Gehen die Molekularveränderungen in einfachen Substitutionen einher, so bleibt in der Regel die Atomrefraktion der Elemente erhalten. Verlaufen jedoch tiefere Umwälzungen im innersten Kern der Moleküle, so möchte die Elementaratomrefraktion nicht einseitig bestimmbar sein, sondern bloß mit steter Rücksicht auf die gegenseitige Wechselwirkung aller betheiligten atomistischen Elemente. — In der zweiten Arbeit sind die Schemata von vier Structurformeln: „Nucleo naftalico Stirolo, Alcool cinnamico, Anetolo" gegeben und untersucht; ferner: $C_6C_4\left\{\begin{array}{l}CH_3\\OC_3H_5.\end{array}\right.$ Wir müssen uns jedoch eine weitere Verfolgung der Frage versagen[3]).

H. Nasini (Atti della Reale Accademia dei Lincei (4) I. 78.) bemerkt zu H. Gladstone's Zahlensammlung für das

[1]) Atti della reale Accademia dei Lincei. Roma, 1885. (4.) Fasc. IV. Vol. I. p. 74—78. (Sulla rifrazione atomica dello zolfo.) Fasc. IV. Vol. I. p. 78—82. (Sul valore più elevato della rifrazione atomica del carbonio.) – [2]) Bi-, tetra-, esa-valente. – [3]) S. auch Kanonikoff; Giorn. d. Soc. chim. fis. russa. 7. XV. 434.

Lichtbrechungsvermögen (Ntf. XVIII, 101.)[1]), daß dem Kohlenstoff kein fester Werth hätte beigelegt werden sollen, weil hiemit ein ähnlicher Fehler gemacht sei, wie bei H. Brühls früher (Ntf. XVI. 359. XVII. 317.) untriftig erwiesener Annahme, daß die Molekularrefraktion organischer Verbindungen für jede Doppelbindung des Kohlenstoffs um zwei Einheiten steige. Dies Element bewirkt allerdings im Allgemeinen Wertherhöhung der Molekularrefraktion, ohne daß dieselbe indeß der Anzahl der Kohlenstoff-Atome streng proportional ginge. Letzteren dürfe demnach nicht ausschließlich anomales Verhalten der Lichtbrechung zugeschrieben werden.

93. Die älteren einschlägigen Arbeiten von H. A Schrauf[2]) in Wien seien hier bloß erwähnt: Bestimmung der optischen Constanten krystallisirter Körper; über die Abhängigkeit der Fortpflanzung des Lichtes von der Körperdichte; (worin Bezug genommen ist auf Laplace's[3]) rein analytisch hergeleitete Formeln Π_1 (s,) = $S s^{\infty} \Pi$ (s) ds (s, Oberflächenabstand des Lichtpunktes, Π (s) Anziehung zwischen diesem und der wägbaren Masse) $K = S_0^{\infty} \Pi_1 (s,)\, ds,$, $\sin \alpha, = \sin \alpha / \sqrt{1 + 4 \delta K / v^2}$ (δ Körperdichte, v Lichtgeschwindigkeit)); über einige Relationen zwischen der Fortpflanzung des Lichtes und der chemischen Zusammensetzung; über den Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf die Fortpflanzung des Lichtes (worin die Farbenzerstreuung direct abhängig erklärt wird von Größe, Entfernung und Masse der Moleküle, das Brechungsvermögen aber zur Synthese der Verbindung in Bezug gesetzt ist); Ermittlung der Refraktionsäquivalente der Grundstoffe; Notiz über die Ableitung der Krystallgestalten aus den Grundstoffen mittels der optischen Atomzahlen; über einige Einwendungen gegen die Theorie des Refraktionsäquivalentes (namentlich durch H. Rühlmann[4]), welcher unter Anderm den Ausspruch von Gladstone und Dale[5]) citirt: **„The absolute refractive power is evidently not a constant"**).

---

[1]) Amer. J. of Sc. I. 1885. — [2]) An. d. Physik. 1861. CXII. (188.) 588—595. 1862. CXVI. (192.) 193—249. 1863. CXVIII. (194.) 359—361. CXIX. (195.) 461—480. 553 bis 572. 1865. CXXVI. (202.) 177—178. 1866. CXXVII. (203.) 175—176. 1867. CXXX. (206.) 433—438. 1868. CXXXIII. (209.) 479—497. — [3]) Méc. céleste, IV. 10. p 232. 264. — [4]) Aenderung der Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser durch Wärme. An. d. Physik. 1867. CXXXII. (208.) 1—29. 177—203. — [5]) Phil. Transact. 1863. CLIII. 307. Phil. Transact. 1863. CLIII. 318—343.

Gleichfalls bloß andeuten wollen wir die betreffenden Arbeiten der Herren Gladstone über die Refraktions-Aequivalente[1]), Wüllner über die Beziehung zwischen Brechungs-Exponenten des Lichtes und Körperdichte[2]), Topsoe und Christiansen über optische Constante isomorpher Körper[3]); Rammelsberg über die Beziehungen zwischen Circularpolarisation, Krystallform und Molekularconstruktion der Körper (worin die Krystall-Elemente als Gruppen von Massentheilchen hingestellt werden)[4]).

94. Vorwaltend theoretisches Interesse gewähren die kurz berührten Darlegungen von C. Briot **„sur les vibrations intérieures des molécules"**[5]), wonach ein aus n Atomen bestehendes Molekül in 3(n—2)fach verschiedentlicher Weise geradlinig schwingen kann; C. Neumann[6]), über die Aetherbewegungen in Krystallen, mit der Annahme, daß die Aethertheilchen sowohl unter sich als seitens der Moleküle Einflüsse erfahren, und daß der Aether allen motorischen Acten, welche eine Aenderung seiner nicht absolut constanten, doch schwer variablen, Dichte erstreben, starken Widerstand leistet. Den Lichtschwingungen gegenüber ist derselbe mächtig genug, um die Incompressibilität des Aethers zu verbürgen. Die Funktion, nach welcher zwei Aether-Moleküle auf einander wirken, hat die Form $A/r^4 + B/r^6$, worin r ihren Abstand bedeutet, und $A = o$ sein kann. In den verschiedenen Körpern, sogar in den Intermolekularräumen eines einzelnen variirt die Aetherdichte, deren Periodicität beanstandet dagegen M. J. Boussinesq[7]). — H. E. Wiedemann[8]) führt die Doppelbrechung in Colloiden und Krystalloiden auf Molekularzustände zurück. — H. Ostwald[9]) bestimmt die chemische Avidität aus dem Lichtbrechungsvermögen. (Quincke. Bleekrode).

---

[1]) Philosophical Magz. (4.) XXXVI. 311. — [2]) An. d. chim. (4.) XIV. 498. — J. Chem. Soc. 1884 XLV. 241. Beibl. 1885. IX. 249. — [3]) Kryst. opt. Undersogelser. Vidensk. Selsk. Skr. (5.) IX. (9.) 625. An. d. chim. et d. phys. (5.) I. — [4]) Ber. d. chem. Gs. II. 31—37. Cimento. (2.) I. 314. — [5]) J. Liouville; XIII. 304. — [6]) Math. An. I. 325. II. 182. — [7]) An. d. chim. et d. phys. (4.) XXX. 539. — [8]) Physikal. Gs. in Berlin. 24. Okt. 1884. (XXXV. Berlin, 1885.) N. XI. S. 44. — [9]) Opt.-chem. Studien. In.-Diss. Dorpat. 1878. Vol.-chem. Studien. Mag.-Diss. Dorpat. 1877.

X. Wärme-Schwingungen.

95. Herr R. Clausius erinnert in seiner berühmten Abhandlung „über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen", an eine 1850 veröffentlichte Arbeit, in der schon vorausgesetzt ward, daß die Wärme-Erscheinungen in motorischen Acten bestehen. Weil aber diese Vorstellung ausführlicher darzulegen er bis dahin absichtlich unterlassen hatte, erscheint die „Zürich, 5. Januar 1857" datirte Publication[1]) als Hauptquelle für die thermomechanischen Theorien, in welchen des Weiteren jener hervorragende Forscher trotz seines Zugeständnisses, daß die Herren Krönig[2]) und Joule[3]) ähnliche Ansichten geäußert hätten, an erster Stelle steht. — Während bei den optischen Vorgängen auch in der, wie wir sahen, z. B. völlig siegreichen molekularen Auffassung den Aetherschwingungen die wesentlichste Rolle, den wägbaren Atomen nur secundärer, doch sehr mächtiger Einfluß eingeräumt wird, sind bei der Wärme die Molekularbewegungen[4]) am wichtigsten; wir stünden an der Grenze der Physik des Aethers, wenn nicht zugegeben würde, „daß jedes Massenatom noch mit einer Quantität eines feineren Stoffes begabt, und dieser, ohne sich von den Atomen zu trennen, doch in seiner Nähe beweglich sein könne". Damit nähert man sich den Redtenbacher'schen Dynamiden, deren calorischer Bedeutung die nächste Nummer vorbehalten ist. Hier handelt sich es zuvörderst um äußere wie innere Bewegungen der Gas-Moleküle als Trägern der Wärme. Beide Bewegungsarten, für jedes Gas in bestimmtem Verhältniß stehend, rufen sich bei unzähligen Anlässen gegenseitig hervor, doch unter solch complicirten Umständen, daß die gewöhnlichen Elasticitätsgesetze unanwendbar sind. Die Fortschreitung der Moleküle im Raume bildet nur einen Theil der im Gesammtkörper enthaltenen lebendigen Kraft und nur dieser entspricht dem absoluten Temperaturwerth, welcher jedoch wegen der Constanz jener Vertheilung der Bewegungsarten der ganzen lebendigen Kraft proportional ist. Dieselbe steht in unveränderlicher Beziehung zur fortschreitenden Bewegungskraft, was sich an der Constanz der specifischen Wärme eines gegebenen Gasvolums zeigt. Für ideale Gase, welche in Wirk-

[1]) An. d. Physik. 1857. C. (176.) S. 353—380. — [2]) Berlin bei A. W. Hayn. — [3]) Lit. and Phil. Soc. of Manchester. — [4]) De Franchis, Considerazioni sopra alcune relazioni tra le velocità di efflusso i calori specifici e le velocità moleculari dei gas. — Atti della R. Acc. d. Lincei. Roma, 1885. (4.) I. p. 331. 371—374.

lichkeit bloß annähernd erreicht sind, verschwindet der stofferfüllte Raum gegen das Gesammtvolum, die Zeit des Aneinanderpralens der Moleküle ist sehr klein, der Einfluß der Molekularkräfte so gut wie unmerklich. Die Aggregatzustände machen keinen wesentlichen Unterschied; nur daß in Gasen die Moleküle ganz den Sphären ihrer Anziehung entronnen sind, in Flüssigkeiten keine bestimmte Gleichgewichtlage besitzen, in festen Körpern aber um solche sich bewegen. Die Übergänge der Aggregatzustände sind mit Lagenänderungen der Moleküle verbunden. Geschieht dies in, ihrem inneren Antrieb entsprechendem, Sinne, so erwächst ihnen Geschwindigkeit, deren lebendige Kraft als Wärme auftritt; im entgegengesetztem Falle wird diese vermindert. Dies bezieht sich auf die innere Arbeit; die äußere macht sich, zumal bei Gasen, in raumdurchschreitenden Vorgängen geltend. Dabei äußern die Atome verschiedener Gase gleiche lebendige Kraft, sofern dieselben im gleichen Volumen gleichviele Atome führen. Da Ähnliches auch an zusammengesetzten Gasen stichhaltig erscheint, nimmt Cl. auch in Elementen mehratomige Moleküle an, in denen schon die Bestandtheile eine, der chemischen Verwandtschaft analoge, Polarität besitzen. Die Gleichheit der lebendigen Kraft in fortschreitender Bewegung dürfte dann den ganzen Molekulargruppen eigen sein, und zwar im Werthe $n m u^2 / 2$ (n die Anzahl der Moleküle, m die Masse jedes einzelnen, u die Geschwindigkeit, für welche ein Durchschnitt annehmbar ist, während von allen Bewegungsrichtungen jede mögliche gleich oft vorkommen mag). Das Verhältniß jener Kraft zur ganzen im Gase vorhandenen Wärme wird gefunden, indem man letztere nach der Arbeits-Einheit mißt. Es ergibt sich $K / H = (3 / 2) (c, / c - 1)$, $K = (3 / 2) pv$; worin H die nach obigem Maße bestimmte Wärmemenge, c, die specifische Wärme bei constantem Druck, c diejenige bei constantem Volumen, p der Druck auf die Flächeneinheit, v das Gasvolum ist. Die Abweichung der in fortschreitender Bewegung dargestellten lebendigen Kraft von der Totalwärme des Gases ist um so größer, aus je mehr Atomen jede Molekulargruppe besteht, weil in dieser jene Atome wahrscheinliche Schwingungen oder Rotationen ausführen, welche einen Theil der Gesammtwärme bilden.

96. In der hieraus allmählichen entwickelten mechanischen Wärmetheorie ist der Satz von besonderer Wichtigkeit, „daß die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann“[1]. So selbstverständlich dies klingt,

[1] Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.

gibt es doch Fälle, wo dessen Giltigkeit bezweifelt werden kann. Eine thermoelektrische Batterie, bei welcher der, Strom erregende, Temperatur-Unterschied den Abstand von Frost- und Siedepunkt des Wassers, also 100° C. nicht überschreitet, macht dünne Drähte glühend, was eine mindestens vierfach höhere Temperatur erheischt. Gegen diesen Einwand Herrn Tait's[1]) bemerkt Cl., daß die Arbeit, welche Elektricität zur Strömung brachte, durch Überwindung von Leitungs-Widerständen oder ähnlichen molekularen Bewegungshindernissen in Wärme verwandelt werden kann, welche sich unter günstigen Umständen der Umgebung weit über die Ausgangstemperatur zu steigern vermag. Es liegt hier wie bei ähnlichen Erfahrungen kein Wärme-Übergang von niederer zu höherer Stufe „von selbst" vor, sondern ist stets eine andere zur Compensation dienende Veränderung nachweislich. Dies scheinen auch die Gegner einzusehen; denn während bis dahin wenigstens wissenschaftlich discutirbare Ausstellungen gemacht wurden, beruft sich später H. Tait[2]) zu Gunsten der Ansicht, daß Wärme ohne Arbeitsverbrauch aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen könne, auf eine Betrachtung H. Maxwell's[3]), welcher seinerseits wieder Thomson's „Dämonen"[4]) beschwört, die Gaspartikel zu überwachen und Klappen in einer Scheidewand gelegentlich zu öffnen oder zu schließen, damit ebenso viel schnellere Moleküle von Links nach Rechts, als langsamere umgekehrt durchdringen könnten. Herr Clausius bleibt ernsthaft genug zu betonen, daß an der Wärme als Molekularbewegung zahllose Massentheilchen, in allen möglichen Richtungen und mit den verschiedensten Geschwindigkeiten bewegt, mitwirken, wobei Einzelheiten, nur zufällig auftretend, den allgemeinen Gesetzen der Wahrscheinlichkeit huldigen. Unberechenbar freilich seien willkürliche Eingriffe von Dämonen, welche er mit der köstlichen Bemerkung abfertigt, „sein Satz beziehe sich nicht darauf, was die Wärme mit Hilfe von Dämonen thun kann, sondern darauf, was sie für sich allein thun kann"[5]). — Die Constanz der Energie in Form des ersten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie macht H. A. v. Oettingen[6]) zum Ausgangspunkt einer

---

[1]) Philosophical Magz. (4.) XLIII. — [2]) Lectures on some recent advances in Physical Science, 1877. II. Ed. p. 119. — [3]) Theory of Heat. — [4]) „Such imaginary beings, whom Sir M. Thomson provisionally calls demons - small creatures without inertia, of extremely acute senses and intelligence and marvellous agility." — [5]) An. d. Physik. 1875. Ergänz. Bd. VII. S. 83—134. Dorpat. — [6]) An. d. Physik. 1877. II. (238.) 130—133.

Arbeit über „Temperatur und Adiabate“ (constanter Parameter bei adiabatischen Veränderungen eines Körpers), welche, zu Clausius („maximum der Entropie“) in Opposition tretend, hier bloß angedeutet werden kann.

97. In Redtenbacher's unter III. 22 besprochenem Dynamidensystem wird die Entstehung der Wärme erklärt aus Stößen, welche die gegen die Dynamidenkerne senkrecht schwingenden Atome der Aetherhüllen auf jene üben. Die Temperatur ist zum Quadrate der Mittelgeschwindigkeit jedes Aetherpunktes proportional und von der Aetherdichte unabhängig. Die Wärme-Capacität erscheint als Relation zwischen dem Atomgewicht eines Stoffes und der Anzahl der Aetheratome in seinen Dynamiden. Die genauere Verfolgung dieser Beziehungen dürfte Aufschlüsse geben über den Gehalt bestimmter Stoffgruppen an Aether und dessen atomistische Fesselung oder Beschränkung. Jede Erwärmung setzt Kraftverbrauch voraus zur Erregung radialer Aetherwellen. Die angewandte lebendige Kraft thut aber nicht bloß dies; sie überwindet auch äußeren Druck, verändert die Abstände der Dynamidenkerne und Aetherhüllenpunkte, modificirt die Schwingungs-Zustände der wägbaren Atome. Das Ergebniß nach Außen hin ist Ausdehnung und Übergang der Aggregatzustände. Bei der hieher gehörigen Verdampfung wird die, Abstoßung und Anziehung der Dynamiden ausgleichende, Arbeit aufgezehrt in Überwältigung äußeren Druckes, durch Körperschwingungen, welche ein, vom besonderen Fall abhängiges Maß von lebendiger Kraft darstellen, und von Vibrationen des entweichenden Aethers. — Die schon 15 Jahre vor Herausgabe obigen Buches, also 1842, erdachte Theorie scheint mir sehr beachtenswerth, weil auf Wechselwirkungen zwischen Masse und Aether gehörige Rücksicht genommen ist.

98. Bei den vielen Analogien der strahlenden Wärme mit dem Lichte war zu erwarten, daß die molekularen Folgen elektromagnetischer Einflüsse am schwingenden Aether nicht bloß, wie längst geschehen, optischen, sondern auch thermalen Nachweis finden möge. Nach mehr oder weniger erfolgreichen Arbeiten vornehmlich der Herren Wartmann[1]), de la Provostaye und Desains[2]) wurde 1879 an der technischen Hochschule

[1]) Comptes rendus. 1846. XXII. 745. — An. d. Physik. 1847. LXXI. (147.) 573. Bibliothèque univers. — Soc. de Physique et d'Hist. nat. Genf. 16. IV. 1845 (1847 ?) — [2]) An. d. chim. et de Phys. 1849/50. (3.) XXVII. 232.

6

Berlins durch Herrn Leo Grunmach[1]) eine höchst gründliche Untersuchung der Frage ausgeführt. Das Ergebniß scheint vertrauenswerth sowohl nach der Forschungs-Methode, als der auf große Umsicht deutenden Vorbemerkung, daß unmittelbar vor dem Schließen und unmittelbar nach dem Öffnen des magnetisirenden Stromes die durch den Thermostrom allein hervorgebrachte Ablenkung der Galvanometernadel zu beobachten und in Rechnung zu ziehen ist, und daß eine lineare Interpolation zwischen den beiden so erhaltenen Werthen nur dann statthaft ist, wenn ihre Differenz im Vergleich zu der durch die Erregung des Magneten hervorgebrachten Ablenkung genügend klein ist, um in das Bereich der zufälligen und unvermeidlichen Beobachtungsfehler zu fallen. Leider kann wegen des hier beschränkten Raumes die Beschreibung der bei den Versuchen angewandten Apparate; der Versuchsanordnung; dieser selbst, zu denen schweres und leichtes Flintglas, Spiegelglas, Schwefelkohlenstoff, Terpentinöl, Wasser, Alkohol benützt wurde, und deren zwischen 30. Aug. und 13. Sept. 1879 im Ganzen 56 angestellt wurden, nicht gegeben werden. Bei Kritik und Berechnung der Experimental-Ergebnisse sind mögliche Fehler eingehend discutirt. Höchlich zu beachten ist Behandlung und Aufstellung der Materialien. In dieser Hinsicht zeigte Verdet[2]), daß die Drehungsgröße der Polarisations-Ebene bei gleicher elektromagnetischer Kraft abhängt vom Cosinus des Winkels zwischen Strahlen- und magnetischer Achsen-Richtung; in jener erhält die doppelbrechende Eigenschaft fast jedes irgendwie mechanisch behandelte Glasstück. Dieser Umstand kommt vielleicht auch bei Herrn Kerr's[3]) Versuchen über die Beziehungen zwischen Elektricität und Licht in Betracht. Sehr wichtig ist ferner, die direkte elektromagnetische wie die secundär inductive Einwirkung möglichst fern zu halten; endlich, daß die Wärmequelle constant sei. Das Schlußergebniß war, daß in flüssigen diathermanen Stoffen die Polarisations-Ebene strahlender Wärme stets im Sinne des kreisenden Stromes gedreht wird; die Drehungsgröße mit dem Brechungsindex wächst (außer beim Alkohol); bei direkter Einwirkung eines elektrischen Stromes zu

---

[1]) Über d. elektromagn. Drehung d. Polſ.-Ebene d. strahl. Wärme in festen u. flüssig. Körpern. Berlin, 1881. (Schade.) — (Dem Herrn Verfasser ergebensten Dank für freundliche Zusendung!) — [2]) An. de Chim. et de Physique. (3.) XLIII. 37. — Vorlesungen über die Wellentheorie des Lichtes (1865/66 in d. Sorbonne) deutsch v. Exner, Braunschweig, 1881. — [3]) Philosophical Magz. (4.) L. 337—348. 446—458. Später: Philosophical Magz. (5.) XIII. 153—169. 248—262. (1882.)

dessen Intensität proportional ist, desgleichen der magnetischen Kraft zwischen den Polen, und mit der Länge der durchstrahlten Schicht zu wachsen scheint.

99. Weil bei der Wärme weit mehr als beim Lichte die Schwingungen der Moleküle eine direkte Rolle spielen, erschöpfen jener gegenüber die atomistisch-mechanischen Beziehungen nicht den Sachverhalt; vielmehr sollten auch die chemischen Erscheinungen in dem klaren Lichte betrachtet werden, welches über sie neuere thermale Studien verbreiteten. Die Physik des Aethers, als solche tritt indeß hier mehr zurück, so daß um so lieber an eine selbständige Bearbeitung des umfangreichen Gegenstandes verwiesen wird, als der kleine mir noch verfügbare Raum Einschränkung auf das Wesentlichste fordert. — Da wohl alle chemischen Verbindungen in hoher Temperatur zerfallen, überschreiten in dieser die Atombewegungen die Grenzen der molekularen Anziehung Bei solchen Dissociations-Phänomenen[1]) treten im einfachsten Fall die betheiligten Stoffe in den ursprünglichen Zustand zurück. Die bis zur atomistischen Disgregation den Molekülen zugewandte Energie mißt die Affinität. Diese nebst der dissociirenden Wärme bedingt den chemischen Umsatz. Die bei solchem erhöhte Temperatur ist proportional der atomistischen Verwandtschafts-Energie. Stellt von letzterer die bis dahin unbefriedigte Anziehung den potentiellen Theil, so tritt die Wärme im kinetischen zu Tag. Vielleicht ersetzt später die Übergänge beider Energieformen eine vielfache Umwandlung der kinetischen[2]). — Experimentale Belege gab vornehmlich H. Julius Thomsen in Kopenhagen[3]). Als thermodynamisches Aequivalent, dem gegenüber die Körper iso- oder hetero-dynam sich verhalten, bezeichnet er den auf's stoffliche Mischungsgewicht bezogenen Werth der Wärme, in welche eine bis zum Verschwinden zurückgehende chemische Intensität umgewandelt wird. Ist jenes in einer Verbindung größer oder kleiner, als an deren Bestandtheilen, so erfolgt beziehentlich beim Entstehen derselben Absorption und Entwicklung von Wärme. Die,

[1]) H. Sainte-Claire Deville; Leçons sur la dissociation. Paris, 1866. — A. Naumann, Thermochemie. Braunschweig, 1882. — [2]) D. modernen Theorien d. Chemie (als chemische Mechanik) v. Lothar Meyer. Breslau, 1883. IV. Aufl. S. 460. — [3]) An. d. Physik. 1853. LXXXVIII. (164.) 349. — XC. (166.) 261. — 1854. XCI. (167.) 83. — XCII. 168.) 34. — 1869. CXXXVIII. (214.) 65. 201. 497. — 1870. CXXXIX. (215.) 193. — CXL. (216.) 88. 497. — 1871. CXLII. (218.) 337. — CXLIII. (219.) 354. 497. — 1872. CXLIV. (220.) 643. — 1873. CXLVIII. (224.) 177. 368. — CL. (226.) 31. — 1874. CLI. (227.) 194.

alle sowohl positiv als negativ thermalen Vorgänge chemischer Acte umfassende Wärmetönung ist die Differenz der Summe d. thd. Äq. der Bestandtheile und d. thd. Äq. der Verbindung, mithin bei deren Zersetzung wie Bildung von gleicher Größe, aber verkehrtem Sinne. — Hier ist anschließbar, was der nämliche Forscher[1]) vom mechanischen Aequivalente des Lichtes sagt, weil, abgesehen vom inneren Zusammenhang, er durch Vermittlung der Wärme es erhält. Von dieser wurde das Flammenlicht einer Wallratkerze, des Gases und einer Lampe befreit in 20 cm dicker Wasserschicht, wobei vom Lichte an sich 0.13 absorbirt ward. Die rein optische Vibration, von 0.137 gr. Wallrat in 1 min. erzeugt, gleicht an molekularer Wirkung einer Wärmewelle, die 4.1 gr. Wasser um 1° C. erwärmt, oder rund $\frac{1}{15}$ gr. in 1 sec., was, das mechanischthermale Aequivalent zu 437 k.m. gesetzt, die Arbeitskraft 0.437 : 15 = 0.029 k.m. darstellt. Demnach ist das mechanische Aequivalent des Lichtes cca. 1/35 k.m. (bei stündlichem Verbrauch von $8\frac{1}{4}$ gr Wallrat). Den Abschluß der thermomolekularen Arbeiten, welche hier nicht ausführlich verfolgt werden können, bilde eine einschlägige Untersuchung von Herrn E. Wiedemann[2]). c (M + mn) ist die Molekularwärme einer Lösung, wenn c deren spec. Wärme, M das Molekulargewicht des Salzes, m dasjenige der Flüssigkeit, n die Anzahl ihrer Molekel auf 1 Molekül des gelösten Stoffes bedeuten. Tabellen geben einschlägige Werthe für Natriumchlorid, -sulfat, -nitrat und Ammoniumsulfat. Die Molekularwärme der Lösung ist bei starker Concentration größer, bei schwacher kleiner, als diejenige des vorhandenen Wassers, damit in mittlerer übereinstimmend. Diese Unterschiede dürften zusammenhängen mit differenten Bindungen der Wasser-Atome an Salzmoleküle, mit deren Aufhebung Temperaturänderungen einhergehen.

100. Die Stellung der Atomenlehre zur Physik des Aethers läßt sich in der ätheromolekularen Wechselwirkung charakterisiren. Die Optik ist nicht reine Bewegungslehre; denn bloße Schwingungen, sei es im Aether oder in der wägbaren Masse, geben kein Licht. Dies entsteht erst durch die Verbindung jener beiden Medien. Soll es zur wirklichen Empfindung kommen, so müssen überdies die Theile des Auges, besonders die Nervenfasern mit dem an ihnen oder zwischen und in den Zellen,

[1]) Naturforscher-Versammlung zu Stockholm im Juli 1863. An. d. Physik. 1865. CXXV. (201.) 348—352. — [2]) An. d. Physik. 1883. XVIII. (254.) S. 608—612.

als organischen Molekülen, liegendem Aether vibriren[1]). Das Sehen ist nur eine Seite der vibratorischen Wirksamkeit in Aether und Masse, welche von viel weiterer Erstreckung wahrscheinlich bei allen natürlichen Kraftäußerungen betheiligt ist. Die Zukunftsforschung wird ergeben, daß Schwere und Verwandtschaft, Licht und Wärme, Magnetismus und Elektricität in wesentlich übereinstimmender Weise aufzufassen sind. Dabei wird man kaum sich auf bloß formale Unterschiede im Schwingungsvorgang des Aethers beschränken dürfen, sondern Combinationen seiner und der stofflichen Bewegungen annehmen müssen. — Die grob mechanischen Bewegungen an festen, flüssigen, gasförmigen Körpern vertragen sich ebenso wenig mit der Fernwirkung, als die fein molekularen. Es ist wunderbar, daß dies Phantasma unvermittelter Kraftübertragung über leere Räume hin, ebenbürtig den Gespenstern einer dunklen Epoche der Naturlehre, als Fortschritt ihr gegenüber gelten konnte. Entschuldigt erscheint es durch die mathematische Klarheit des mit jenem Begriff verbundenen Gesetzes. Dessen Formel: Mm / R^2 ist nur den Erscheinungen der Schwere angemessen unter der Fiktion eines über beliebige Abstände Kräfte aussendenden Massencentrums. Kein mathematischer Lehrsatz der Optik sagt etwas Bestimmtes über das Wesen des Lichtes aus; ja es ist charakteristisch für deren rein formelle Bedeutung, daß viele solche Darstellungen gleich richtig erscheinen, ob man die Strahlungs- oder Wellen-Theorie zu Grunde legt. Warum sollte es sich nicht ähnlich mit dem Gesetze der Schwere verhalten? Unsichtbare Verbindungslinien der centralen und peripherischen Wirkungs-Punkte wird Niemand annehmen. Weit besser entspricht der physikalischen Auffassung eine unzerreißbare Kette stofflicher Elemente, deren Bewegungszustände unmittelbar aufeinander übertragbar sind. Direkter Contact oder absolute Raumerfüllung der wägbaren Masse ist darum keineswegs nothwendig; wohl aber das Zugeständniß, daß eine feine Substanz — lassen wir ihr den ganz gleichgiltigen Namen: Aether — zu Fortleitung und ungeänderter oder modificirter Übertragung motorischer Acte fähig ist. In der Erkenntniß, daß physikalische Erscheinungsreihen nur durch Zusammenwirkung der Masse und des Aethers möglich sind, daß aber diese weit häufiger ist, als bis dahin zugelassen wurde, sehe ich das Hauptergebniß der molekularoptischen Forschungen. Ob Atome seien, entscheiden dieselben in absolutem Sinne so wenig, als die frühere

[1]) Favé; Comptes rendus. Paris, 1878. LXXXVI. 441. 524. 560. 640.

motoroätherische Optik; wohl aber constatiren sie unwiderleglich, daß mit den Atomen, einzeln oder in Molekülen gruppirt, an sich nichts anzufangen ist, sondern daß erst die Coexistenz einer feineren Aethersubstanz die physikalischen Geschicke bestimmt. Sind diese zuvörderst bloß im Bereiche des Lichtes und der Wärme befriedigend dargelegt, so ist hiemit zugleich für andere Untersuchungen die Richtschnur gegeben. Gravitation und Molekularattraktion[1]) stimmen so sehr überein, daß die verschiedenen Exponenten, mit denen der Nenner obiger Formel belegt wird, nur empirische Bedeutung haben, eine wirklich rationelle aber erst erlangen werden, wenn die Art der interatomistisch-ätherischen Vermittlung erforscht ist. Dies Zwischenglied oder die Form der übertragenden Bewegungen möchte um so einfacher sein, je weiter die Massen auseinander stehen; um so verwickelter, je mehr in den Aetherschichten der Einfluß angestellter wägbarer Kerne zur Geltung kommt. Alle chemischen Erscheinungen sind Funktionen der Molekularanordnung und des interstitiell gelagerten Aethers, doch mit vorwaltendem Werthe der ersteren oder ihrer motorischen Modificationen. Diejenigen des Aethers überwiegen beim Lichte, dessen neuere Lehre durch das Zugeständniß atomistischer Einwirkung charakterisirt ist. An der Wärme wirken beiderlei Medien gleichberechtigt mit, und sind die dem Maße oder der Empfindung zugänglichen Fluktuationen an Störungen dieser Aequivalenz geknüpft. Solche sind fähig, elektrische Ströme auszulösen und mit ihnen magnetische Molekular-Drehungen hervorzurufen. In anderen Fällen werden diese eng verbundenen Kräfte entwickelt durch chemische und mechanische Vorgänge. Sie scheinen demnach den Ring des natürlichen Geschehens zu schließen, nicht bloß mittels äußerer Verbindung seiner Endglieder, sondern seine ganze Masse stetig durchfluthend. — Dies im Sinne atomistischer Erfassung zu verfolgen, ist eine Aufgabe für sich, deren Lösung erst läßt die physikalische Stellung der Atomistik in abgerundetem Bilde erscheinen. — Das gegenwärtige mußte in engerem Rahmen gefaßt werden. Dies fordern Raum und Zeit wie das Maß der unter ungewöhnlich schwierigen Verhältnissen arbeitenden Kraft.

(Wegen Erkrankung konnte Verfasser die persönliche Revision der Arbeit nicht vollenden.)

[1]) H. van 't Hoff; La chimie dans l'espace (Die Lagerung der Atome im Raume), übers. durch F. Herrmann mit Vorwort von J. Wislicenus. Braunschw., 1877. (Vieweg.) — Strukturtheorie (Tautomerie).

Uebersicht.

Hoh, Theodor

Die Stellung der Atomenlehre zur Physik des Aethers geschichtlich-physikalische Studie

Bamberg 1885